P. W. ATKINS

Regatul periodic

O CĂLĂTORIE PE TĂRÎMUL ELEMENTELOR CHIMICE

II 325.997

HUMANITAS

BIBL. CENT
„M. EMI
II 325. 997

BCU IASI / CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

SCIENCE MASTERS

BCU IASI / CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

P. W. ATKINS este conferențiar universitar de chimie fizică la Universitatea Oxford și *fellow* și *tutor* al Colegiului Lincoln, Oxford. Este autor a mai mult de douăzeci de lucrări, între care cărți de popularizare precum *Molecules* și manualul *Physical Chemistry*, utilizat de studenți pretutindeni în lume.

BCU IASI / CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

P. W. ATKINS

REGATUL PERIODIC

O călătorie pe tărîmul elementelor chimice

Traducere din engleză de
ELENA I. BURLACU

BCU IAȘI / CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

HUMANITAS
BUCUREȘTI

Coperta
IOANA DRAGOMIRESCU MARDARE

29.01.1999
B.C.U. „M. EMINESCU"
- IAŞI -
ale 816.205

P. W. ATKINS
THE PERIODIC KINGDOM
Basic Books, A Division of Harper Collins Publishers, Inc., 1995
Numele şi marca „Science Masters" sînt proprietatea lui Brockman, Inc.

© HUMANITAS, 1998, pentru prezenta versiune românească

ISBN 973-28-0838-1

BCU IAŞI / CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

Întotdeauna am fost frapat de începutul romanului *The Vessel of Wrath* de Somerset Maugham. Autorul stă în cabinetul său, răsfoind *Yangtse Kiang Pilot*, iar ochiul minții sale vede cum tabelele pentru maree și direcțiile de navigație capătă treptat realitate. În imaginația sa, contururile și tabelele fac loc unei versiuni mai bogate de îndată ce observă copacii, acoperișurile și, în cele din urmă, oamenii care constituie subiecții povestirii sale. La fel mi-ar face plăcere să mă însoțiți într-o călătorie imaginară pe austera hartă de navigație a chimiei, tabelul periodic al elementelor. Dar, în imaginația noastră, îl vom vedea ca pe o țară — Regatul Periodic — populată de personalități, așa cum vom constata atunci cînd vom coborî pe suprafața ei. Vom zbura deasupra regatului, îi vom vedea colinele vălurite, lanțurile de munți, defileele și cîmpiile. Vom ateriza și ne vom plimba prin cîmpiile vaste și vom traversa dealurile. Vom coborî chiar și sub pămînt și vom descoperi că există o structură ascunsă, un mecanism care controlează și guvernează regatul. Pentru că acest loc e unul rațional.

BOSTON UNIVERSITY LIBRARY

Tabelul periodic este, neîndoielnic, cel mai important concept al chimiei, atît în principiu, cît și în practică. El constituie un sprijin zilnic pentru învățăcei, sugerează noi căi de cercetare profesioniștilor și furnizează o organizare succintă a întregii chimii. Tabelul periodic conferă o demonstrație remarcabilă a faptului că elementele chimice nu constituie o adunătură întîmplătoare de entități, ci posedă trăsături care le grupează în familii. Pentru oricine dorește să descifreze lumea și să vadă cum este ea constituită din cărămizile fundamentale ale chimiei, elementele chimice, e esențial să acorde atenție tabelului periodic. Oricine caută să se familiarizeze cu viziunea științifică asupra lumii trebuie să cunoască forma generală a tabelului periodic, deoarece acesta constituie o parte din cultura științifică.

Am prezentat tabelul periodic ca pe un fel de ghid de călătorie într-o țară imaginară, iar elementele constituie diferitele ei regiuni. Regatul are o geografie: elementele se juxtapun unul altuia și sînt folosite pentru a produce bunuri, întocmai cum preeria produce grîu, iar lacul produce pește. De asemenea, regatul are o istorie. Într-adevăr, el cunoaște trei feluri de istorie: elementele au fost descoperite la fel cum au fost descoperite și pămînturile lumii; regatul a fost cartografiat întocmai cum lumea a fost cartografiată, iar pozițiile relative ale elementelor au început să capete o mare semnificație; de asemenea, elementele au propria lor istorie cosmică, istorie care poate fi urmărită pînă la stele.

Regatul Periodic are și o administrație, deoarece elementele au proprietăți guvernate de legi care le controlează comportamentul și determină aliațele pe care

le formează. Această administrație e de găsit în proprietățile atomilor, în cele ale electronilor și nucleelor care constituie atomii.

N-am presupus nici o cunoaștere prealabilă a chimiei. Tot ce vă solicit este să vă folosiți imaginația pentru a interpreta analogiile geografice în termeni de entități concrete. Vom zbura împreună deasupra acestui peisaj și vom ateriza atunci cînd ne va conveni. Vom descoperi astfel un regat bogat, a cărui manifestare este lumea reală.

Aș dori să-i mulțumesc lui Jerry Lyons, care a editat această carte, pentru unele sugestii utile, și Sarei Lippincott, care, în calitate de redactor, m-a ajutat în mod admirabil să fac să devină clar ceea ce doream să spun.

Oxford, ianuarie 1995

BCU IASI / CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

B.C.U. „M. EMINESCU" IAȘI

Partea I

GEOGRAFIA

BCU IASI / CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

CAPITOLUL 1

Teritoriul

Bun venit în Regatul Periodic! Acesta e un ținut al imaginației, dar mult mai aproape de realitate decît pare. Este regatul elementelor chimice, substanțele din care e făcut orice e palpabil. Nu e o țară întinsă, deoarece constă doar din vreo sută de regiuni (cum vom denumi adesea elementele), explicînd, cu toate acestea, existența oricărui material din lumea noastră reală. Din cele vreo sută de elemente, care constituie centrul povestirii noastre, sînt făcute toate planetele, rocile, vegetația și animalele. Aceste elemente stau la temelia aerului, a oceanelor și a Pămîntului însuși. Stăm pe elemente, mîncăm elemente, *sîntem* elemente. Deoarece creierele noastre sînt făcute din elemente, chiar și opiniile noastre, cumva, au proprietățile elementelor și, deci, ale locuitorilor acestui regat.

Regatul nu este un talmeș-balmeș de regiuni, ci un stat minuțios organizat în care trăsăturile unei regiuni sînt apropiate de cele ale vecinilor săi. Există puține granițe distincte. Mai curînd, peisajul este caracterizat în mare măsură prin tranziție: savana se îmbină cu văile domoale, care treptat se adîncesc în defilee fără

de sfîrșit; coline răsar treptat din cîmpii pentru a deveni munți semeți. Acestea sînt imaginile, analogiile de reținut atunci cînd călătorim prin regat. Esențial este a nu se uita nu numai că lumea materială este construită din vreo sută de elemente, ci și faptul că aceste elemente — la rîndul lor — formează o structură.

În această etapă, urmărim să realizăm o evaluare a structurii, o familiarizare cu regiunile regatului. Privind de sus, vedem că regatul cuprinde o perspectivă largă, de la hidrogen pînă dincolo de îndepărtatul uraniu. Există regiuni cunoscute dincolo de uraniu, dar în cea mai îndepărtată zonă se întinde un orizont neexplorat, în așteptarea unui nou Columb. Mai apropiat de noi este teritoriul cunoscut — regiuni ca acelea ale carbonului și oxigenului, azotului și fosforului, clorului și iodului. Pînă la sfîrșitul acestei prospecțiuni topografice inițiale, vom fi familiarizați cu majoritatea regiunilor și le vom cunoaște ca echivalente pentru deșert, mlaștină, lac sau pășune.

Chiar de la această înălțime, mult deasupra pămîntului, putem vedea principalele trăsături ale peisajului (fig.1). Există regiuni splendide, strălucitoare, constituite din metale și adunate în ceea ce vom denumi Deșertul Vestic. Acest deșert este uniform, în linii mari, dar există umbre subtile indicînd o varietate de caracteristici. Ici și colo există pete delicate de culoare, ca licărirea cunoscută a aurului și îmbujorarea cuprului. Cît de remarcabil e faptul că aceste pămînturi pustii constituie cea mai mare parte a regatului (aproximativ 86 dintre cele 109 elemente cunoscute), deși regatul furnizează o asemenea bogăție în lumea reală! Această abundență sugerează faptul că ariditatea deșertului este o iluzie și că atunci cînd îl vom privi de aproape vom

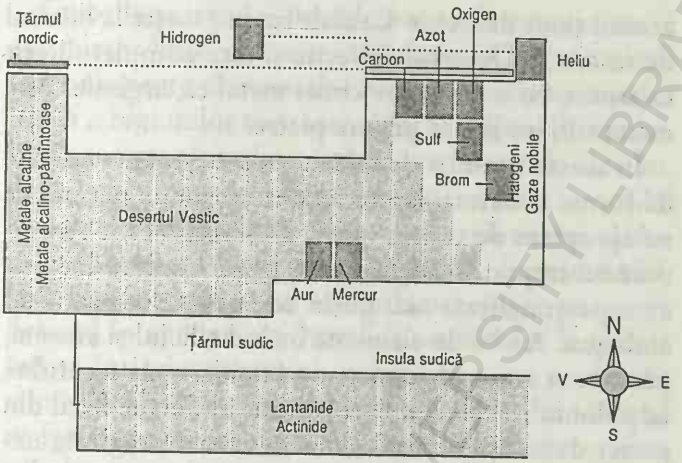


Fig. 1

Planul general al Regatului Periodic, cu menționarea unor caracteristici ale regiunilor. În Deșertul Vestic și Insula Sudică se află elementele metalice, toate celelalte elemente fiind nemetale.

vedea că e bogat în echivalentul mineralelor și că peisajul lui rece posedă un larg domeniu de proprietăți fizice și chimice. Dar o cercetare mai amănunțită rămîne pe mai tîrziu. Acum ne aflăm încă mult deasupra regatului, iar varietatea deșertului nu este vizibilă imediat.

Spre est, peisajul variază considerabil, lucru vizibil chiar și de la această altitudine. Aici se întind regiunile mai blînde ale regatului și poate fi văzut și un lac. Dar imediat devine evident că nu-i vorba de un regat obișnuit, căci lacul nu are limpezimea gri sau albastră a lacurilor de pe Pămînt, ci este de un strident roșu-închis cu dungi cafenii. Această regiune este cea a bromului și reprezintă unul dintre cele două lacuri ale

acestui ținut deosebit. Celălalt lac se găsește la hotarul de răsărit al Deșertului Vestic și este complet diferit ca aspect, cu o strălucire crudă metalică, argintie. Este mercurul, un lichid printre pietre.

În aceste ținuturi de răsărit, există o mare varietate de forme și culori, iar varietatea crește pe măsură ce ne apropiem de coasta estică. Deșertul Vestic se modulează treptat în regiuni care par metalice, dar care au o personalitate mai puțin accentuată, un caracter ambiguu. Astfel de elemente includ siliciul și arsenul, precum și regiunile mai puțin familiare ale regatului, ca poloniul și telurul. Pare că ținutul devine fertil din punct de vedere chimic, dar în această regiune necunoscută realitatea poate diferi de prima impresie. De la această altitudine, mult mai izbitor este faptul că vedem culorile peisajului. Există cunoscuta pată vie a sulfului cel galben — pucioasa, cum i se spunea nu demult, pucioasa iadului. Vecinul său, seleniul, parcă s-ar schimba o dată cu anotimpurile, de la cenușiu-metalic într-o formă, la roșu-brun, în altă formă. Cum poate o aceeași substanță să capete nuanțe atît de diferite? Seleniul nu este singurul exemplu. Cel mai comun element, carbonul, prezintă de asemenea o varietate remarcabilă: cea mai cunoscută formă a sa este cea negricioasă, dar poate varia pînă la scînteietorul diamant, la cenușiul-metalic al grafitului și la portocaliul-cafeniu al formei cristaline recent descoperite, fulerita. Trebuie să fim atenți la aceste forme variate ale unui element dat — forme pe care le vom numi alegoric anotimpuri, dar care, de fapt, sînt numite alotrope — deoarece ignorarea lor poate duce la confuzii. Cînd coborîm pe suprafața regatului, putem găsi elementele în oricare dintre anotimpurile lor.

Culorile peisajului devin chiar mult mai variate în apropierea liniei de coastă răsăritene. Cele mai uimitoare elemente chimice sînt *halogenii*, o familie strîns legată a regiunilor care includ lacul roșu al bromului. De la această altitudine, vedem gradarea culorilor lor, de la fluorul aproape lipsit de culoare, aflat în nordul îndepărtat, întunecîndu-se prin galbenul-verzui al clorului spre roșcovanul brom învecinat. La sudul bromului se întinde iodul cel cu luciri negre-purpurii, licărind în apropierea litoralului sudic. Iar la sud de iod se întinde astatiniul, o regiune care poartă un nume dar despre care se știe încă prea puțin. O astfel de ignoranță se însoțește, așa cum se întîmplă adesea și în lumea reală, cu inutilitatea; dacă n-ați auzit vreodată de astatiniu, asta se întîmplă deoarece pare că e inutil să-l cunoaștem. Aceasta este una dintre cele mai neexploatate, mai neproductive și doar superficial investigate dintre regiunile regatului.

Variația coloritului în această zonă este unul dintre cele mai vădite aspecte ale gradării proprietăților elementelor de aici. Această parte a regatului atrage privirea cu nuanțele ei plăcute și sîntem conduși spre gîndul că poate există aici tendințe subtile necesitînd o cercetare mai atentă, chiar o excavare, cu scopul de a judeca limpede lucrurile. Aceasta este de fapt situația, iar cînd călătorim prin regat pe jos, trebuie să fim atenți la modulările care nu se arată chiar atît de fățiș. O parte din plăcerea chimiei — denumirea pentru legislația care guvernează Regatul Periodic — constă în descoperirea unor profunde ritmuri subterane care leagă regiunile regatului, unindu-le în familii.

Una dintre aceste tendințe este vizibilă în fapt cu ochiul liber. Așa cum nu putem vedea aerul pe care îl

respirăm, unele regiuni ale Regatului Periodic apar ca fiind lipsite de substanță. Aceste regiuni, în aparență goale, se întind pe coastele de răsărit și de nord — peisaje aparent chiar mai puțin fertile decît Deșertul Vestic. Dar coasta de nord-est este departe de a fi nefolositoare, deoarece aici se întinde oxigenul, acest aproape universal sol al vieții. Azi oxigenul este în asemenea măsură indispensabil vieții pe Pămînt încît acolo unde nu se află la îndemînă el trebuie furnizat. Cărăm oxigenul sub mări în conteinere; îl transportăm pe Lună. Îl pompăm în trupurile muribunde pentru a le ajuta să se agațe de viață. Îl pulverizăm cu viteză mare în motoare pentru a le da posibilitatea să-și ardă combustibilul. Oxigenul este esența vieții, iar viața și locomoția încetează practic de la sine în absența lui. Iată forța ascunsă a acestei regiuni aparent lipsite de substanță, aflată la hotarul nordic al regatului.

Forța invizibilă nu se rezumă la oxigen. Vecinul lui de la apus, azotul, este de asemenea aparent lipsit de substanță dar esențial pentru viață: o mare parte din activitatea biologică și chimică este îndreptată spre capturarea sa din atmosferă, unde se găsește din belșug. Capturarea azotului este denumită „fixarea" lui, iar fixarea azotului este un proces de importanță vitală pe Pămînt — tot atît de vital ca fotosinteza, fixarea carbonului din dioxidul de carbon atmosferic. Fixarea azotului trebuie să se fi realizat cu multă vreme înainte de apariția oamenilor pe Pămînt, deoarece proteinele sînt formate din el, iar proteinele constituie baza tuturor formelor de viață organică. Chiar vehicularea informației genetice de la o generație la alta se leagă de azot, deoarece el este o componentă a acidului dezoxiribonucleic, sau ADN, materialul din care sînt

făcute genele. Fără regiunea aparent pustie a azotului, viața ar înceta: nu doar că nu ar mai exista ereditate, ci n-ar mai fi nici un fel de activitate — deoarece rotițele dințate ale vieții, proteinele, n-ar mai exista.

Regiunile de pe coasta răsăriteană sînt o altfel de materie. Ele sînt de asemenea, gazoase, dar sînt în mare măsură inactive. Acestea au primit denumiri felurite în perioada care s-a scurs de cînd au fost descoperite de exploratorii chimiști la sfîrșitul secolului al XIX-lea. Inițial au fost botezate gaze rare, deoarece se credea că se găsesc în cantitate mai mică. Aceasta-i desigur adevărat pentru unele dintre ele, dar nu pentru toate: unul dintre aceste gaze, argonul, se găsește în atmosfera Pămîntului în proporție mai mare decît dioxidul de carbon. Heliul, rar în atmosfera terestră, e departe de a fi rar în Univers, unde constituie mai mult de 25% din tot ceea ce există, fiind al doilea, ca procentaj, după hidrogen. Iar radonul, aflat pe coasta răsăriteană în sudul îndepărtat, se găsește într-o proporție periculoasă în acele părți ale Pămîntului unde au loc procese radioactive naturale. „Rar" nu mai este deloc o cale potrivită pentru a caracteriza aceste gaze abundente, iar denumirea a fost abandonată. Cîndva ele erau cunoscute de asemenea și ca gaze inerte; un motiv pentru care această graniță de coastă a rămas nedescoperită așa de multă vreme l-a constituit faptul că aceste elemente nu au fost găsite în combinații. Pionierilor exploratori pe tărîmul chimiei, care își făceau descoperirile prin examinarea combinațiilor dintre regiuni, ținuturile liniei de coastă le rămîneau invizibile și chiar de nebănuit. Totuși, încercări mult mai recente de a le convinge să se combine au fost încununate de succes, iar sterilitatea acestor regiuni a fost biruită. Nu

e cazul să spunem că deșertul de pe coastă înflorește acum, dar există o pîlpîire ocazională de fertilitate, echivalentul chimic al unui fir de iarbă. Astfel, s-a spulberat și justificarea pentru adjectivul „inert". Aceste regiuni sînt cunoscute acum sub denumirea colectivă de *gaze nobile*, denumire care intenționa să implice un fel de răceală chimică mai curînd decît o sobrietate în adevăratul înțeles al cuvîntului.

Pe scurt, dispunerea generală a teritoriului este cea după care metalele se găsesc la apus, cedînd calea, pe măsură ce călătorești spre răsărit, unui variat peisaj de nemetale, care se încheie cu elementele deosebit de inerte de pe țărmul răsăritean. Spre sudul uscatului există o insulă depărtată de țărm pe care o vom numi Insula Sudică. Ea constă în întregime din metale cu personalitate fin modulată. În nordul uscatului, situată întrucîtva asemenea Islandei la depărtare de coasta nord-vestică a Europei, se întinde o regiune unică, izolată — hidrogenul. Acest element simplu, dar înzestrat, este un important avanpost al regatului, deoarece, în pofida simplității sale, este dotat cu o puternică personalitate chimică. El este, de asemenea, cel mai abundent element din Univers și combustibilul stelelor.

BCU IASI / CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

CAPITOLUL 2

Produsele regiunilor

Am văzut în cazurile oxigenului și azotului că a nu fi vizibil nu înseamnă a fi nefolositor. În același mod, regiunile deșertului metalic aproape uniform constituie surse bogate de fertilitate atunci cînd sînt desfășurate în mod adecvat. Să aruncăm o privire de ansamblu asupra produselor întregului regat n-ar fi un lucru potrivit în această fază, deoarece trebuie să știm mai mult despre instituțiile regatului înainte de a putea aprecia pe deplin produsele sale. Însă o inspecție preliminară este potrivită.

Elementele metalice sînt de importanță crucială, atît în peisajul natural al lumii reale, cît și în creațiile științei și industriei. De exemplu, o regiune a Deșertului Vestic este fierul, elementul care a ajutat omenirea să iasă din Epoca de Piatră și a propulsat-o spre (și prin) revoluția industrială. În cursul acestei revoluții, regiunea a prosperat. Prin formarea alianțelor cu un număr de vecini, ca de exemplu cobaltul, nichelul, vanadiul și manganul, fierul a devenit oțel, iar oțelul este — aproape literalmente — fundamentul societății moderne. Faptul că fierul este capabil să se alieze atît de ușor cu vecinii săi este un lucru care nu poate trece neobservat

în regat. Această trăsătură indică existența unor profunzi curenți de asemănare, plasați dedesubtul suprafeței care înfățișează peisajul regatului, curenți analogi legăturilor culturale și economice care consolidează alianțele dintre națiuni.

Regiunile din apropierea fierului au fost și deosebit de semnificative în istoria națiunilor contemporane. La cîțiva pași spre răsărit se întinde cuprul, care — deoarece poate fi extras atît de ușor din minereurile în care se află — a fost primul element utilizat în lunga noastră călătorie dincolo de Epoca de Piatră, și printre primele materiale prelucrate vreodată. Cuprul are o rezistență medie la modificarea chimică nedorită pe care o numim coroziune. În viața de zi cu zi există două consecințe ale acestei rezistențe: una constă în folosirea cuprului pentru confecționarea conductelor de apă — apa fiind una dintre cele mai virulente substanțe chimice — iar alta în folosirea lui, în combinație cu regiunile învecinate staniu și nichel, în fabricarea monedelor. Aici vedem o altă legătură subterană a regatului. În apropiere de cupru se întind argintul și aurul, care au fost multă vreme folosite ca metale pentru comerț, podoabe și monede, în parte datorită aspectului lor atrăgător și a rarității lor, dar și deoarece, de asemenea, sînt rezistente la coroziune; într-adevăr, cuprul, argintul și aurul sînt denumite uneori metale pentru monede, recunoscîndu-se rolul lor în societate.

Vorbind în general, Deșertul Vestic a fost explorat și exploatat de la răsărit spre apus; adică, tehnologia și industria i-au folosit resursele în această ordine. Cuprul a înlocuit piatra pentru a ne aduce în Epoca de Bronz. Apoi, cum exploratorii se îmbulzeau spre vest, punînd în joc întotdeauna mijloace mai energice

de descoperire, ei au întîlnit regiunea fierului și au folosit-o la fabricarea de arme mai eficace. Sub presiunile selecției naturale, acele societăți care au uzat de astfel de arme — fiind mai bine înzestrate pentru a ucide, subjuga și supraviețui — au înflorit. Cele mai puternice state se bucurau de libertate printr-o agresiune continuă, iar aceasta le dădea timp pentru învățătură; în acest fel, la momentul potrivit, ele au fost capabile să pătrundă în regiunile apusene aflate la distanță mai mare în deșert.

Aici au descoperit bogății extraordinare. În profunzimea Deșertului Vestic, într-o zonă aidoma unui istm, întinzîndu-se de la zinc, la est, pînă la scandiu, la vest, s-au împiedicat de titan, cu adevărat o recompensă deosebită. Titanul are exact proprietățile de care o societate își leagă necesitățile înaltei tehnologii, dacă e să se îndrepte spre ceruri: acesta este un metal dur și rezistent la coroziune, și totuși ușor — reprezentativ pentru această porțiune a Deșertului Vestic. Titanul și vecinii săi, vanadiul și molibdenul, în alianță cu fierul, formează oțeluri durabile care ne fac capabili să cioplim în piatră și să construim la scară mare. O trăsătură deosebită a Regatului Periodic este aceea că Istmul, care leagă două blocuri dreptunghiulare de la extremele apuseană și răsăriteană ale regatului, a furnizat atît de multe unelte de bază ale societății noastre și că membrii săi formează atît de ușor alianțe unii cu alții.

Dreptunghiul Vestic este de asemenea partea Deșertului Vestic, dar regiunile sale sînt, într-un fel, mai surprinzătoare decît cele ale Istmului. Aici se află metale care nu sînt găsite vreodată în stare nativă (termenul tehnic pentru forma lor liberă) în natură, deoarece

sînt deosebit de reactive. Cele mai multe dintre aceste metale sînt prea virulente chiar pentru a putea fi atinse. Aceasta e o trăsătură chimică a regatului care, deși nu este tot atît de repede vizibilă ca aceea a culorilor Dreptunghiului Estic, nu este totuși mai puțin șocantă. Pentru a înțelege aceasta ne trebuie doar dovada unei reacții simple: trebuie să urmărim ce se întîmplă atunci cînd plouă în această îndepărtată zonă a regatului.

În îndepărtata regiune nord-vestică a litiului, ploaia are un efect slab. Desigur, terenul fierbe și bolborosește, eliberînd hidrogen gazos atunci cînd ploaia se abate asupra pămîntului, dar, una peste alta, reacția este calmă, iar regiunea e puțin perturbată. Nu la fel stau însă lucrurile și cu sodiul, care este vecinul de la sud. Aici ploaia și terenul se găsesc într-un conflict violent; pămîntul clocotește și fierbe de cîte ori îl lovește o picătură de ploaie. Dacă în regiunea litiului ploaia este tolerabilă, iar în regiunea sodiului abia suportabilă, la atingerea potasiului, regiunea aflată imediat la sud de sodiu, efectul ploii este dincolo de orice închipuire. Acum ea face ca pămîntul nu numai să se agite și să fiarbă, ci chiar să ia foc și să ardă. Aici reacția dintre metal și apa de ploaie este atît de puternică încît hidrogenul ia foc; această regiune este de nelocuit pe timp de ploaie. Dar mai departe spre sud? Aici ploaia este explozivă. În regiunea rubidiului și cesiului, fiecare picătură de ploaie este o bombă, făcîndu-se țăndări prin explozie la impactul cu solul. Tendința în această familie de elemente este cea a unei reactivități chimice crescînde de la nord spre sud.

Virulența acestor metale de la hotarul Deșertului Vestic — cunoscute sub numele colectiv de *metale*

alcaline — nu înseamnă că ele nu sînt folositoare în natură și industrie. Virulența, atunci cînd este stăpînită, are foloasele ei. Sodiul, de exemplu, este o componentă a sării de masă (clorura de sodiu), o substanță atît de folositoare încît guvernele i-au reglementat distribuția. Sodiul este o componentă de bază a activității sistemului nervos și creierului, iar fără el obținem organisme care ar fi inerte și plante în mare măsură nefuncționale. Potasiul, un metal alcalin ale cărui trăsături diferă subtil față de cele ale sodiului, este de asemenea o componentă esențială a activității neuronale, iar interdependența delicată a acestor elemente similare susține gîndirea și acțiunea, animînd, prin urmare, ceva altminteri lipsit de viață. Aici vedem din nou puterea alianței dintre vecini într-un regat: o armonizare a proprietăților poate fi mult mai bogată în consecințe decît proprietățile care acționează de unele singure. Gîndirea este cel mai subtil fenomen al materiei; ea provine în parte, din interacțiunea a două regiuni învecinate între care există doar o subtilă diferență de proprietăți.

Chiar la răsărit de metalele alcaline se întinde un alt grup de regiuni cu proprietăți înrudite și plasat pe teritoriul acestui bloc dreptunghiular. Această familie de regiuni, cuprinzîndu-le pe cele botezate *metale alcalino-pămîntoase*, include calciul care de asemenea clocotește atunci cînd plouă, bolborosind în liniște și formînd mai mult hidrogen decît litiul. Calciul este totuși mult mai folositor decît litiul, iar natura a găsit utilizări acestei regiuni a Deșertului Vestic cu multă vreme înainte ca civilizațiile umane să înceapă să folosească litiul (în principal, litiul e folosit la bombele nucleare). Calciul este o componentă a activității ner-

voase, întocmai ca sodiul și potasiul, dar mai este și un element caracteristic al construirii și menținerii formei organismelor. În natură, el este o componentă a unor astfel de materiale ca osul (fosfatul de calciu) scheletelor interne și a crustei (carbonat de calciu) scheletelor externe. Acumularea carbonatului de calciu provenit de la crustacee a contribuit în mod esențial la rigidul schelet intern al propriului nostru peisaj terestru. Culmile de var nestins sînt o moștenire a vieții marine și dăinuiesc mulțumită calciului pe care îl conțin.

Utilizarea calciului de către natură a fost copiată de civilizațiile omenești, care au pavat cu calcar și au construit clădiri care au rezistat mii de ani. Romanii fabricau ciment și mortar dar nu și-au dat seama că, în fond, se ocupau cu mineritul calciului din regat. Fără acest produs al regiunii Deșertului Vestic, nu numai că n-ar fi existat vreo structură permanentă în societățile civilizate, dar organismele nu și-ar fi dezvoltat arme de atac (dinți sau colți) sau mijloace de protecție sub forma cochiliilor.

Chiar la nord de calciu se întinde magneziul, o regiune cu proprietăți similare dar, din nou, diferind subtil. Magneziul este mai puțin reactiv decît calciul: cînd plouă aici, terenul rămîne în mare măsură neschimbat. Dar, asemenea calciului, magneziul poate juca rolul unui fel de coloană vertebrală pentru anumite specii și este găsit împreună cu calciul în mineralul asemănător cretei, denumit dolomit, din care sînt făcuți Munții Dolomiți din Austria și Italia. Un produs deosebit de important al regiunii magneziului este o moleculă organică numită clorofilă, care conține un singur atom de magneziu în ochiul ei. Fără clorofilă,

lumea ar fi o piatră umedă și caldă în locul delicatului rai verde plin de viață pe care-l cunoaștem, căci clorofila își îndreaptă ochiul ei de magneziu spre Soare și captează energia luminii solare, în prima fază a fotosintezei. Din motive pe care le vom cerceta mai tîrziu, magneziul are exact acele trăsături care să facă posibil acest proces. Dacă regatului i-ar fi lipsit acest element, ochiul clorofilei ar fi fost orb, fotosinteza n-ar fi avut loc, iar viața, așa cum o cunoaștem, n-ar fi existat.

La capătul sudic al acestei familii se află metalele stronțiu, bariu și radiu. Structurile regatului încep să ne fie cunoscute, iar, întrucît structurile constituie fundamentul predicției, sîntem capabili să prezicem că aceste regiuni vor fi mult mai reactive decît cele dinspre nord. Într-adevăr, ele sînt prea agresive față de mediu pentru a fi de mare folos, iar natura nu le-a găsit vreo întrebuințare. Radiul este puternic radioactiv (o proprietate nucleară, nu de natură chimică) și este utilizat pentru a distruge celulele care proliferează malign. O formă radioactivă de stronțiu, stronțiul 90, este o componentă a precipitațiilor radioactive și, dacă se acumulează în oase în locul calciului, poate distruge celulele necesare vieții și poate induce leucemia.

E timpul să traversăm din nou Istmul spre ținutul dreptunghiului din răsărit. Produsele Dreptunghiului Estic sînt incredibil de abundente. Cele mai interesante regiuni se întind pe coasta nordică; pe două dintre ele, oxigenul și azotul, le-am vizitat deja. Dar nici o regiune de pe coasta nordică — sau de oriunde în acest regat, la drept vorbind — nu este mai fecundă decît carbonul. Carbonul este un element comun, intrînd ușor în legăturile pe care le formează. Spre

deosebire de fluor, care se găsește doar cu cîteva regiuni mai spre răsărit, carbonul nu este o primadonă reactivă. În chimie, ca și în viață, această lipsă de pretenții este răsplătită, iar pe calea lui banală carbonul s-a întronat rege al Regatului Periodic. Carbonul, desigur, este elementul compușilor organici: proprietatea extraordinară și complexă pe care o numim „viață" se trage aproape în totalitate din această regiune nordică întunecată a regatului.

Imediat la sud de carbon se găsește siliciul. Așa cum se întîmplă adesea cu vecinii, aceasta constituie o vecinătate extrem de ambiguă. Aidoma carbonului, dar într-o măsură mai mică, siliciul este capabil să formeze unele molecule cu lanț lung necesare în orice proces la fel de complex ca viața, dar nu a realizat o formă vie cu propriile-i forțe. Totuși, în această privință, siliciul poate fi doar un somnolent. Principalele produse ale carbonului, organismele vii, au luptat mai mult de cîteva miliarde de ani pentru a stabili mecanismele acumulării și dispersării informației (o distilare și o definiție, ambele austere, a ceea ce înțelegem prin „viață"), iar siliciul a stat în expectativă. Recenta alianță a celor două regiuni, în care organismele pe bază de carbon au valorificat compușii artificiali pe bază de siliciu în tehnologia informației, a avut drept consecință înrobirea siliciului. Totuși, precocitatea organismelor produse de carbon este de o astfel de natură încît aceste organisme stimulează în mod constant puterile latente ale siliciului, iar, într-o zi, siliciul va putea să răstoarne suzeranitatea vecinului său nordic și să-și asume rolul dominant. Acesta are cu siguranță un potențial cu bătaie lungă, deoarece metabolismul și replicarea lui nu necesită aceeași dezordine ca acelea ale car-

bonului. Putem vedea aici una din cele mai subtile interacțiuni ale aliaților de oriunde din regat, deoarece siliciul nu-și va realiza potențialul fără ca povara dezvoltării să nu fie dusă de către carbon.

Un ritm deosebit al regatului ar trebui să fie observat atunci cînd zburăm deasupra acestei zone. Carbonul este un element acceptabil ca tipic nemetalic, întocmai cum sînt și vecinii lui de la apus și de la răsărit, borul și azotul. Totuși, dacă zburăm direct spre sud, ne vom mișca în interiorul hotarelor Deșertului Vestic, care se proiectează pe diagonală — de la nord-vest spre sud-est — în Dreptunghiul Estic. În acest triunghi proeminent se întind tăciunii aprinși ai deșertului: elementele metalice cunoscute, ca aluminiul, staniul și plumbul, și unele mai neobișnuite, precum galiul și taliul. Structura pe care o observăm acum se desfășoară pe diagonală: frontierele și asemănările formează, de la nord-vest la sud-est, diagonale care trec de-a curmezișul regatului.

În timp ce metalele liniei vestice de coastă sînt atît de energice încît sînt periculoase prin reactivitatea lor, aici, în anexa estică a deșertului, metalele sînt mult mai calme — calme pînă la indiferența chimică. Staniul, de exemplu, era aplicat cîndva ca strat protector în cutiile de conserve făcute din oțel, înainte ca vecinul său apropiat, de la nord, aluminiul, să fi înlocuit atît scheletul (fierul), cît și pielea (staniul) pentru aproape toate ambalajele universale ale băuturilor, chiar și ale celor mai corozive, precum cola. Plumbul, vecinul de la sud al staniului, are chiar un parcurs istoric mai îndelungat în ce privește indiferența sa chimică. Din timpul Imperiului Roman și pînă în zilele noastre, el a fost utilizat pentru distribuirea acestui lichid coroziv,

apa. E mai degrabă rușinos că plumbul nu este complet inert în prezența apei și că mici cantități de plumb pătrunse în creierele umane pot duce la debilitate mintală, iar de-acolo la prăbușirea imperiilor. Așa se poate întîmpla cu pretinșii aliați — în acest caz, cu carbonul din nordul îndepărtat și cu plumbul din punctul sudic cel mai coborît.

Deosebirea între metalele de la marginea estică și cea vestică a Deșertului Vestic — primele calme și satisfăcute, ultimele virulente și violente — sugerează ideea că Istmul formează o punte de trecere între cele două zone (fig. 2).

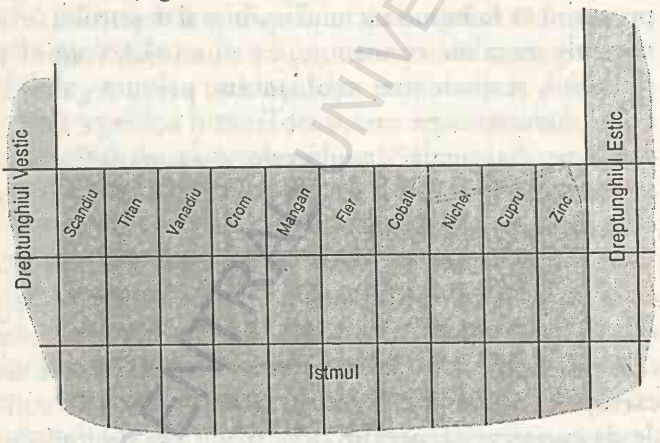


Fig. 2
Unele dintre metalele care formează Istmul ce unește Dreptunghiul Vestic cu Dreptunghiul Estic.

Această natură tranzițională este evidentă chiar și în cadrul Istmului; scandiul, în vest, este un metal violent, în timp ce cuprul, care este apropiat de marginea estică a Istmului, este un metal calm. Desigur, ele-

mentele Istmului sînt denumite *metale de tranziție*. Există anumite rațiuni tehnice care exclud marginea estică a Istmului din această încadrare — zincul, cadmiul și mercurul — dar, în linii mari, putem considera Istmul ca reprezentînd o pantă de descreștere a activității chimice de la vest spre est.

Să ne întoarcem la Dreptunghiul Estic: la capătul diagonalei Deșertului Vestic — linia de NV–SE pe care se sfîrșesc metalele făcînd loc nemetalelor — există o zonă ambiguă de elemente cunoscute ca *metaloide*, care posedă și caracteristici de metale și de nemetale. Această zonă diagonală include regiunile cunoscute ca siliciul și arsenul și unele regiuni, poate mai puțin cunoscute, ca antimoniul (stibiul) și poloniul. Trebuie menționat faptul că zona este încheiată de carbon și că siliciul se află în interiorul ei. Probabil nu-i doar o coincidență faptul că acest teritoriu ambiguu cuprinde elementele care fac posibile cele mai complexe proprietăți, precum viața și conștiința.

Traversînd linia de ambiguitate metaloidă, chiar în mijlocul Dreptunghiului Estic și destul de grupat, se întinde regiunea nemetalelor. Aici se află unele teritorii cunoscute, ca azotul, oxigenul și halogenii. Chiar la sud de azot și oxigen se întind două regiuni bine cunoscute naturii de multă vreme și care au fost exploatate din plin. Imediat la sud de azot se găsește fosforul, care a fost izolat prima oară prin distilarea și prelucrarea urinei — un indiciu privind distanțele pînă la care sînt pregătiți chimiștii să meargă sau, poate, doar un semn al originilor obsesive și scatologice ale vocației lor. După această izolare inițială a sa, fosforul a fost găsit în mai multe varietăți: fosfor alb, fosfor roșu și un soi metalic, negru. Dar asta-i

altă lecție! Mult mai semnificativ este să menționăm modul în care proprietățile se schimbă brusc pe măsură ce călătorim spre interiorul regiunii pornind de la coasta nordică. Elementul de coastă, azotul, este un gaz incolor și nereactiv, pe cînd imediat în interior se găsește fosforul, un element solid și plin de culoare. O diferență similară este întîlnită un pas mai spre est, unde sulful, un solid galben, se întinde chiar la sud de gazul incolor oxigen. Există un povîrniș al diferenței dintre șesul de pe coastă și suprafața de teritoriu aflată imediat la sud. De fapt, toate regiunile coastei nordice, de la bor la fluor, sînt surprinzător de diferite de cele ale vecinilor lor aflați imediat la sud. Mai tîrziu, vom vedea că aceste două șiruri de elemente sînt în esență similare la un nivel mai profund decît ne dezvăluie această prospectare superficială privind aspectul și utilitatea, precum și faptul că este potrivit să fie amplasate în cadrul regatului acolo unde ele se și găsesc de fapt.

În această mică regiune a regatului se află principalele cărămizi ale vieții — carbonul, azotul, oxigenul și fosforul. Complexitatea poate erupe din consangvinitatea ce îmbracă diferențe subtile. Am văzut de altfel că fosforul este o componentă a osului (fosfatul de calciu), dar regiunea a fost exploatată de natură nu doar pentru construirea scheletelor vertebratelor. Natura a descoperit faptul că fosforul are o personalitate rafinată care-l face deosebit de convenabil pentru desfășurarea energiei în organisme. O caracteristică proeminentă a vieții este aceea că ea nu se sfîrșește într-o clipită, ci presupune o desfășurare înceată și o dispunere atentă a energiei: un pic de energie ici, un pic de energie colo, nicidecum un potop impetuos.

Viața este o desfășurare controlată de energie. Fosforul, sub forma adenozintrifosfatului (ATP), se dovedește a fi un vector perfect pentru desfășurarea ingenioasă a energiei, precum și un element comun tuturor celulelor vii. Virusurile sînt lipsite de acest vector, dar îl dobîndesc de la gazdele lor și intră în activitate de îndată ce fosforul se află la îndemînă. Aici vedem o altă alianță organică — între azot, care este decisiv pentru utilizarea și conversia energiei, și fosfor, care este hotărîtor pentru desfășurarea energiei, sub controlul proteinelor pe care le construiește azotul. Importanța deosebită a fosforului a stimulat industria agrochimică să întemeieze principalele activități în aceste regiuni ale regatului, deoarece creșterea grînelor depinde în mod critic de disponibilitatea promptă a bogăției de fosfor. Oricare dintre nenumăratele celule cultivate în fiecare an are nevoie de fosfor, așa cum avem și noi, iar noi îl vom obține consumînd ceea ce crește.

Regiunea sulfului a fost și ea exploatată de către natură — în modalitatea în care ea o face, ingenios și aparent fără scop, dar eficient — în cadrul investigației ei preliminare privind condițiile favorabile vieții. Natura a descoperit că, în anumite privințe, hidrogenul sulfurat (H_2S), analog apei (H_2O), poate fi utilizat de organisme, în general, în aceeași modalitate în care apa este utilizată în procesul de fotosinteză — ca o sursă de hidrogen. Marea diferență de subliniat este că hidrogenul este îndepărtat din apă de către o plantă verde, iar ceea ce se excretă este oxigenul gazos, care apoi se amestecă cu atmosfera distribuită pe întreg pămîntul. Pe de altă parte, atunci cînd hidrogenul este îndepărtat din hidrogenul sulfurat în interiorul unei

bacterii, ceea ce se excretă este sulful. Sulful, fiind un element solid, nu poate fi îndepărtat, astfel încît colonia de organisme trebuie să dezvolte un mod de supraviețuire bazat pe mormanul propriilor deșeuri care se acumulează treptat. Încă mai exploatăm aceste mormane vechi de sulf excretat în partea de sub Golful Mexic. Vecinul de la sud al sulfului, oxigenul, s-a dovedit a fi o alternativă mult mai viabilă decît sulful în ce privește eforturile oarbe ale naturii de a genera transmiterea și acumularea informației, iar azi sulful este folosit doar în mică măsură în organisme; iar hidrogenul sulfurat este utilizat doar de către speciile primitive care ocupă o nișă neînsemnată a naturii.

Aceasta nu înseamnă că unele organisme moderne nu reușesc să utilizeze sulful pentru propriile lor scopuri. Într-adevăr, acidul sulfuric, ca un compus din sulf și oxigen, este principalul produs al industriei chimice. Există foarte puține produse manufacturate care să nu fi intrat, într-o anumită etapă a fabricării lor, în contact cu acidul sulfuric. Producția de acid sulfuric a fost utilizată ca un indicator al randamentului economiei unei țări; mai mult decît atît, acest indicator constituie din ce în ce mai mult un semn al vitalității agricole a unei țări, deoarece acidul sulfuric este implicat în mare măsură în fabricarea îngrășămintelor. În acest caz, principala sa aplicație constă în scoaterea fosfaților din rocile în care aceștia se găsesc. Atunci, aici există o altă alianță, în care organismele bazate pe carbon utilizează acizii bazați pe fosfor, care să ducă la proteinele bazate pe azot.

În sudul acestei suprafețe de coastă, variația proprietăților este mult mai puțin bruscă, iar tendința

generală, așa cum am văzut, este de înlocuire a caracterului nemetalic cu cel metalic, pe măsură ce trecem pe nesimțite spre sud-est. Aici se întind regiuni pe care natura s-a încumetat cu greu să le exploateze: seleniul, telurul, poloniul și, ușor spre vest, arsenul, antimoniul și bismutul. Ba chiar, regiunea arsenului, imediat la sud de fosforul cel dătător de viață, este sursa unei otrăvi clasice. Activitatea arsenului ca otravă descinde din marea lui asemănare cu fosforul, care îl face apt să se strecoare în reacțiile pe care le suferă fosforul, dar blocîndu-i lanțul de reacții, în timp ce diferențele subtile pun la cale perturbarea metabolismului celular. Arsenul este utilizat pentru a ucide — în mod binefăcător, în componența unor medicamente pentru combaterea infecțiilor, sau malefic, în gazele neurotoxice.

La estul acestor regiuni se întind halogenii: fluorul la nord, iodul la sud, și imediat sub iod — puțin cunoscutul astatiniu, pe coasta sudică. Halogenii, cu excepția astatiniului, sînt extrem de utili în natură și în industrie, iar aceste regiuni au fost exploatate extensiv și de către una, și de către cealaltă. Fluorul a constituit în mare măsură o curiozitate de laborator în decursul primelor incursiuni ale exploratorilor chimiști de la sfîrșitul secolului al XIX-lea în această regiune; el este un gaz extrem de virulent chimic și, pe drept cuvînt, dificil de depozitat, datorită ușurinței cu care sînt atacate și transformate în site conteinerele aflate sub proiectilele sale. Totuși, la începutul secolului al XX-lea a devenit necesar să se separe izotopii de uraniu pentru folosirea lui în războiul nuclear și de către vărul său, oarecum benign, energia nucleară, iar procedeul de separare făcea uz de compusul volatil

hexafluorura de uraniu. Era nevoie de fluor din belșug; atunci lumea modernă a găsit căile de manipulare a elementului, iar acesta a devenit disponibil din abundență. Un rezultat fertil a fost utilizarea fluorului ca agent de fortificare a smalțului dentar, ceea ce a dus la îmbunătățirea globală a sănătății dentare a națiunilor. Accesibilitatea fluorului a condus de asemenea la producerea fluorocarbonilor și, între alte lucruri, la avantajul funcțional al acoperirilor neadezive pe care le furnizează.

Clorul, chiar la sud de fluor, a fost exploatat din plin de natură și industrie, deoarece se găsește din abundență în apa mării. El e prezent aici în compania sodiului, sub formă de clorură de sodiu, sare a oceanelor, și — după un anume grad de rafinare — sare de bucătărie și de masă. Clorul este prezent de asemenea din belșug în corpurile noastre, ale căror fluide se aseamănă destul de mult cu mediul acvatic în care au apărut. Rolul lui în corpurile noastre, ca și în ocean, este oarecum pasiv; el este prezent ca partener de căsătorie cu sodiul, avînd o infimă funcție proprie. Clorul, în forma sa gazoasă, prezintă totuși mari asemănări cu vecinul său nordic, fluorul, fiind puternic reactiv, iar gazul clor a fost folosit pentru a ucide deopotrivă microbi și oameni. Clorul poate fi tot atît de bine răspunzător pentru uciderea populațiilor prin mijloace mai rafinate, deoarece clorocarbonii și clorofluorocarbonii sînt utilizați ca agenți de refrigerare, iar eliberarea lor în atmosfera înaltă a dus la rarefierea păturii de ozon care înconjoară Pămîntul. Ozonul, un alotrop gazos al oxigenului, formează un scut protector în jurul planetei, blocînd pătrunderea radiației ul-

traviolete dăunătoare care provine de la Soare — radiație care scindează delicatele molecule organice funcționale în fragmente inutile și uneori periculoase. Clorul atacă moleculele de ozon și le transformă din nou în molecule normale de oxigen, sărăcind astfel scutul protector al Pămîntului. Există multe lucruri bune în această regiune a regatului, dar și lucruri pe seama cărora se poate pune o bună parte din deteriorarea mediului.

Mai departe spre sud se află lacul — elementul lichid — al bromului, unicul lac al Dreptunghiului Estic și unul dintre cele două lacuri ale regatului. În utilizarea elementelor, chimistul-natură a evitat din plin bromul, găsind mai potrivit să utilizeze în locul lui clorul, care este mult mai abundent și s-a dovedit de prea puțin interes ca diferențele bromului să fi trebuit să-și aducă contribuția. Chimiștii-oameni, totuși, l-au găsit deosebit de convenabil, deoarece poate fi atașat la și scos cu ușurință din moleculele organice și, plecînd de-aici, poate fi utilizat ca mijloc de a le modifica pentru a răspunde scopurilor industriei. Bromul este în principal un element de laborator, secret, utilitar, o regiune pentru uzul fabricantului mai curînd decît pentru cel al negustorului cu amănuntul. Dar, chiar dacă este rar întîlnit, nu trebuie desconsiderat. O aplicație obișnuită este fotografia: bromura de argint pune în joc unele proprietăți speciale ale argintului și bromului pentru a ajuta la captarea imaginilor luminii.

Iodul este mai util naturii decît bromul. El diferă semnificativ de clor, iar natura îl folosește în anumite procese biochimice ca pe o modalitate internă de protecție față de invazia chimicalelor și a organismelor străine.

Îngusta și îndepărtata Insulă Sudică formează o anexă neobișnuită a regatului. Ea este, de fapt, o extindere a Deșertului Vestic, iar pe unele hărți ale Regatului Periodic este prezentată ca fiind inclusă în teritoriul de bază, formînd o componentă îngustă a Istmului metalelor de tranziție. Insula Sudică este formată din două benzi de coastă uniforme. Banda nordică este cea care cuprinde o familie de metale remarcabil de asemănătoare, cunoscute sub denumirea de pămînturi rare, sau, mai oficial, de *lantanide*. (Unii încă le mai numesc „metale de tranziție internă", denumire inspirată de inserția acestei insule la Istm.) Lantanidele sînt atît de asemănătoare între ele încît, pînă de curînd, puteau fi separate unele de altele doar cu mare dificultate. Într-adevăr, aproximativa uniformitate a trăsăturilor sugerează că nu merită să se întreprindă efortul considerabil pentru separarea lor. Natura, se pare, nu folosește lantanidele în planurile ei de făurire a vieții, iar omenirea a găsit doar recent unele utilizări sporadice ale acestor regiuni. Una dintre ele este o componentă a substanțelor fosforescente care convertesc energia unui fascicol de electroni accelerați în lumina vizibilă de diferite culori într-un tub de televizor.

Banda sudică a insulei constă din elementele numite *actinide*. Pînă la efortul depus pentru fabricarea bombei atomice — Proiectul Manhattan al anilor '30 — regatul nu s-a extins dincolo de uraniu (cu excepția, poate, a stelelor îndepărtate). Proiectul Manhattan a fost cu adevărat un proiect de recuperare a solului în Insula Sudică; descoperirea și fabricarea așa-numitelor elemente transuraniene a extins regatul și a completat banda sudică a insulei. Un proiect similar de recu-

perare se află încă în desfășurare pe coasta sudică a insulei principale, iar la fiecare cîțiva ani se extinde spre est prin regiune. Cele mai multe dintre aceste regiuni recente sînt puțin utilizate deoarece ele sînt atît de instabile încît supraviețuiesc doar pentru perioade de timp foarte scurte. În 1994, de exemplu, s-a comunicat că a fost fabricat un atom al elementului 110.

Pe coasta estică a insulei principale există un alt povîrniș abrupt al activității chimice, de la halogeni în jos spre gazele nobile, pe linia de litoral. La timpul cuvenit vom vedea de ce marea diferență de proprietăți este în acord cu faptul că aceste două zone se întind alături una de cealaltă. În geologie există temeiuri pentru ridicarea spectaculoasă a unui teren. În chimie, de asemenea, există un temei pentru nestăpînita creștere de activitate de la litoralul gazelor nobile la înălțimile halogenilor atît de reactivi. Trebuie să punem și acest aspect în sacul nostru cu probleme de rezolvat.

Faptul că gazele nobile păstrează o mare rezervă față de orice activitate chimică nu înseamnă că ele sînt zone neproductive ale regatului. În unele cazuri, chiar această lipsă de activitate le face utile, deoarece ele pot fi utilizate pentru asigurarea unei atmosfere locale inerte atunci cînd atmosfera obișnuită — sau chiar o atmosferă formată doar din azot — ar fi prea reactivă. Gazele nobile mai dispun și de alte proprietăți fizice care le fac utile. Una dintre ele este punctul de fierbere extrem de scăzut al heliului, ceea ce face din el un refrigerent util atunci cînd se caută temperaturi excepțional de joase. O altă proprietate este coloritul bogat obținut atunci cînd o descărcare electrică traversează gazele — un fenomen numit generic lumină de neon.

Există puține regiuni ale regatului care n-au aplicații și care să nu fi fost exploatate de natură sau de industrie. Aici am subliniat doar principalele utilizări și manifestări ale elementelor: o listă cuprinzătoare ar transforma acest ghid turistic într-o enciclopedie de biochimie, mineralogie și chimie industrială. Dar, exact așa cum există regiuni ale lumii reale care n-au contribuit prea mult la economia globală, tot astfel există regiuni ale regatului care, dintr-un motiv sau altul, sînt pasive. Fiecare element dispune de cel puțin o variație minimă a personalității sale care-l face util în principiu și, poate mai mult decît vecinii săi din regat, într-o anumită misiune. Astfel trebuie să existe alte motive pentru lipsa de exploatare decît caracteristicile intrinseci ale elementului însuși.

În mod specific, există două motive. Unul este acela că elementele se găsesc pe Pămînt în cantități foarte mici și că nu-i decît o închipuire faptul că acesta e un depozit de bunuri. Așa stau lucrurile cu franciul și astatiniul, fiecare dintre ele apărînd în cantități atît de mici încît nu există vreo posibilitate de a le exploata comercial. S-a evaluat că pe întregul Pămînt, în orice moment, nu există decît aproximativ șaptesprezece atomi de franciu. Elementele transuraniene din suprafețele recent recuperate ale litoralului sudic sînt preparate în cantități similare, iar din pricina extremei lor rarități este puțin probabil să fie vreodată exploatate. Un al doilea motiv este radioactivitatea. Bismutul, în îndepărtatul sud-est, constituie un avanpost de stabilitate al regatului; toate elementele de dincolo de el sînt radioactive. Banda sudică a insulei depărtate de insula principală (actinidele) și liziera sudică a insulei

principale sînt locuri periculoase, deoarece oricare dintre ele reprezintă un element radioactiv. Deși radonul este abundent, de exemplu, există un stimulent mic pentru a valorifica proprietățile acestui periculos gaz radioactiv. Pe toată lungimea țărmurilor sudice, se află însemnele tigvei și oaselor încrucișate, iar aici chiar și interesul chimiștilor începe să scadă, iar prudența stăvilește curiozitatea.

BCU IASI / CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

CAPITOLUL 3

Geografia fizică

Multe trăsături ale regatului nu sînt evidente la o privire aruncată la întîmplare, întocmai ca în cazul terenului țărilor adevărate. Pentru a dobîndi cunoștințe mai profunde privind regiunile și ritmurile interioare ale regatului este necesar să faci măsurători. Unele dintre aceste măsurători sînt directe; altele sînt mai sofisticate. Totuși, în toate cazurile, putem atașa numere fiecărei regiuni și ne putem imagina fiecare variație de număr ca pe un aspect al terenului. Exact același lucru se întîmplă în cazul cartografierii peisajelor reale, cînd altitudinea este măsurată și înfățișată apoi printr-o culoare sau modelată ca o ridicare sau ca o coborîre a pămîntului. Culoarea sau curba de nivel pot fi folosite de asemenea pentru a indica variația altor proprietăți, ca densitatea populației sau aciditatea solului.

În acest capitol vom explora fantomaticele imagini secundare ale peisajului, în care modificările diferitelor proprietăți sînt ilustrate ca modificări de altitudine. Așa cum se întîmplă în cazul oricărui regat imaginar, o țară a visurilor chimiștilor, trebuie să nu existe vreo constrîngere în reprezentarea sa — în afară de purul

BOWDOIN COLLEGE LIBRARY

adevăr —, iar în imaginație terenul poate urca și coborî în conformitate cu trăsăturile pe care căutăm să le înfățișăm. Am văzut de altfel un exemplu al acestei modulări fantastice a peisajului în ce privește creșterea și descreșterea activității chimice, unde un povîrniș abrupt estic plonjează de la cîmpiile locuite de halogeni spre litoralul gazelor nobile. Mai înainte am recurs la altitudine atunci cînd am înfățișat litoralul nordic ca total diferit în ce privește caracterul fizic și chimic de ținuturile muntoase din sud. N-a existat nimic cantitativ în această descriere; a fost vorba doar de un simbolism evocator. Acum intenționăm totuși să înfățișăm numerele reale obținute prin măsurători fizice bine definite. Altitudinea și adîncimea peisajului imaginar sînt acum mult mai reale, deși nu ca altitudine și adîncime în sens obișnuit.

Explorarea completă a geografiei fizice a regatului ne cere să facem un alt pas important. În mare măsură, pînă aici, am topografiat regatul din văzduh și am văzut de la distanță regiunile și ritmurile lor unduite. Am analizat fenomenologia elementelor, înfățișarea lor, forma, culoarea și starea fizică. Acum trebuie să aterizăm. Oriunde am ateriza, putem examina structura detaliată a terenului și, folosindu-ne imaginația, să reproducem cu promptitudine ceea ce impun de fapt observația detaliată și măsurătoarea precisă. Adică putem vizualiza atomii din care sînt făcute elementele. Identitatea, forma și structura atomilor unei regiuni constituie ceea ce deosebește o regiune de alta.

Atomii vor face subiectul unei discuții mult mai detaliate în această prezentare a regatului, deoarece ei și interiorul lor constituie baza unei explicații complete.

Deocamdată, tot ce e necesar să facem este să-i înfățișăm ca având o structură aidoma țiglelor, cu fiecare pietricică a unei regiuni date exact la fel ca toate celelalte pietricele ale regiunii, dar diferită de pietricelele oricărei alte regiuni. În acest regat, structura microscopică constituie fundamentul funcției și deosebirea trăsăturilor. În particular, atomii se deosebesc prin masele și diametrele lor, precum și prin alte caracteristici pe care le va dezvălui o cercetare mai atentă.

În primul rînd, să avem în vedere o proprietate evidentă a atomilor — masele lor — care se întind în domeniul cuprins între 1×10^{-31} kg și 1×10^{-29} kg. De departe este mult mai convenabil să discutăm masele exprimate ca valori relative și, prin convenție, vom lua masa atomului de hidrogen ca fiind egală cu 1 și vom raporta toate celelalte mase la această valoare. Atunci, unui atom de carbon, care este aproape de 12 ori mai greu decît un atom de hidrogen, i se va atribui masa 12, iar unui atom de uraniu, care este de aproape 238 ori mai greu decît unul de hidrogen, i se va atribui o masă 238. Chimiștii moderni au perfecționat această scară relativă, dar numerele lor — care se numesc adesea *greutăți atomice* — se dovedesc a fi foarte apropriate de cele pe care le obținem noi pe această cale rudimentară.

Acum, să ne imaginăm terenul regatului caracterizat prin altitudini care reprezintă masele relative ale atomilor elementelor (fig. 3). Pentru a ilustra aceasta, putem să ne închipuim peisajul ca și cum ar urca din extremitatea nord-vestică a regatului spre regiunile radioactive periculoase ale îndepărtatului sud-est. Insula Sudică se înalță de la vest spre est, iar banda mai sudică a insulei este constant mai înaltă decît banda ei

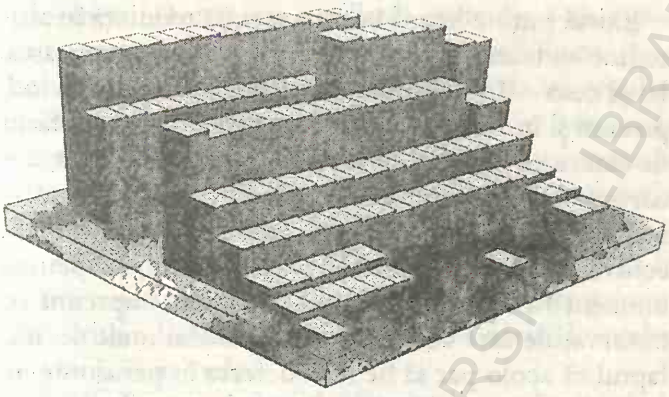


Fig. 3

Regatul reprezentat în termenii maselor atomilor. Regatul este privit din colțul nord-estic. Insula Sudică se află în planul îndepărtat. Hidrogenul, în dreapta, în primul rînd, abia se ridică deasupra valurilor.

nordică. Cineva care călătorește spre est, oriunde în insula principală, va găsi că terenul se înalță. Călătorind spre sud în orice regiune a regatului vom constata că peisajul se înalță brusc. Cele mai joase altitudini se găsesc la avanpostul nordic al hidrogenului, la capul nord-estic al heliului și la capul nord-vestic al litiului. Altitudinea crește uniform aproape oriunde, iar un călător pe linia sudică de coastă se va afla la o înălțime de peste două sute de ori mai mare decît un călător pe joasa coastă nordică, scăldată de mare. În această regiune neobișnuită a regatului, noile pămînturi recuperate din îndepărtatul sud-est țîșnesc în sus în văzduh pe măsură ce sînt descoperite, formînd stîncile impetuos și amețitor de înalte ale liniei de coastă radioactive aflată la sud — chiar mai înaltă decît vîrfurile Insulei Sudice.

Există puține locuri în care această tendință în altitudine va face ca un călător neatent să se poticnească. Ici și colo — în Dreptunghiul Estic, între telur și iod, precum și în Istm, între cupru și nichel — un pas făcut de cineva cu capul în nori va duce la o poticneală, deoarece aici pămîntul coboară întrucîtva, în loc să se înalțe. Aceste mici defecte în peisaj necesită evident echivalentul unei explicații a geologului, iar pentru moment va trebui să le lăsăm să aștepte împreună cu observațiile care cer o interpretare. Mai mult de-atît, faptul că acolo par să fie mici defecte în peisaj este un semnal care atrage atenția că masele atomilor nu pot constitui o caracteristică fundamentală a elementelor. O proprietate cu adevărat fundamentală — una pe care am putea-o corela cu toate celelalte proprietăți atît fizice, cît și chimice, și pe baza căreia să interpretăm astfel în mod absolut regatul — nu ar trebui să fie o proprietate care să admită vreun defect. Evident, masele atomilor par strîns corelate cu ceva care este cu adevărat fundamental, dar ele însele nu pot fi fundamentale. Cu toate acestea, pionierilor regatului le este cu siguranță util să știe că atomii din regiunea sudică sînt mai grei decît atomii unei regiuni aflate spre nord sau vest. Ei știu că mergînd spre sud sau spre est trebuie să urce; și mai știu că drumul înapoi spre capul nord-vestic merge la vale tot timpul.

Atomii unei regiuni sînt de asemenea caracterizați prin diametrele lor, deși variația în diametrele atomilor este de departe mult mai mică decît cea a maselor lor; un atom al unui element greu ca uraniul este doar de două sau de trei ori mai mare în diametru decît atomul elementului celui mai ușor, hidrogenul. Diametrul unui atom tipic este de aproape 0,3 nanometri, iar un

nanometru (1nm) este a miliarda parte dintr-un metru sau o miime din a mia parte dintr-un milimetru, ceea ce se află la limita capacității noastre de închipuire. Astfel, peisajul construit pe altitudine în funcție de diametre este mult mai plat decît peisajul maselor atomice (fig. 4). El este de asemenea mult mai puțin regulat ca formă, ceea ce ne spune imediat că o proprietate fundamentală a atomilor nu este de găsit în diametrele acestora. Totuși, înscriind pe harta peisajului variația de diametru, multe lucruri devin de înțeles, așa cum vom vedea.

În linii mari, peisajul diametrelor se înalță de la nord la sud și coboară de la vest la est, dar există și

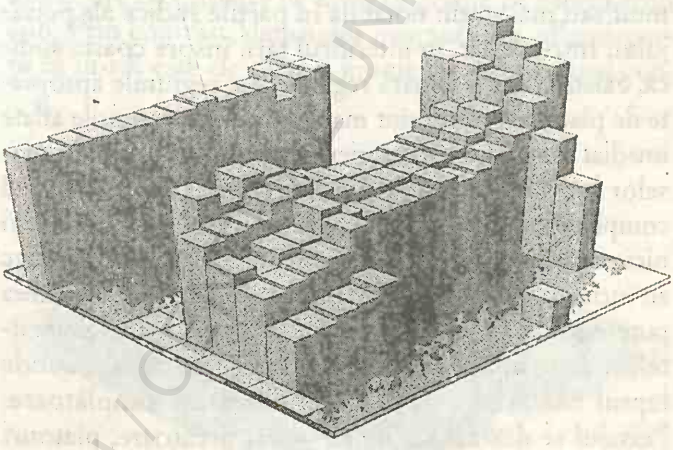


Fig. 4

Regatul reprezentat în termenii diametrelor atomilor. Perspectiva este aceeași ca în fig. 3. Determinarea diametrelor se bazează pe lungimea legăturilor pe care le formează elementele, astfel încît pentru gazele nobile nu există valori, din moment ce ele nu formează legături.

multe excepții. E mai curînd contrar intuiției, la prima vedere, faptul că atomii, pe măsură ce devin mai grei de la nord-vest spre sud-est, devin mai mici. Un exemplu deosebit de important al acestei tendințe aparent bizare este faptul că, trecînd de la vest spre est și traversînd Istmul, pămîntul coboară pe măsură ce călătorim spre est și apoi urcă din nou în Dreptunghiul Estic, unde coborîrea începe din nou. Evident ceva acționează în geologia internă a regatului pentru ca pămîntul să se lase în jos atît de semnificativ, iar acest ceva este un alt candidat pentru o explicație.

Mai există o ciudățenie suplimentară a acestui peisaj. Deși peisajul maselor se înalță aproape fără excepție pe măsură ce mergi de la nord spre sud, înălțarea este mai mult sau mai puțin notabilă în părțile sudice ale peisajului. Într-adevăr, în interiorul țării înspre coasta sudică, există chiar o ușoară regresie, iar regiunile apropiate de platină și iridiu sînt mai joase decît terenurile aflate imediat la nordul lor, o orientare contrară tendinței maselor lor. Evident, peisajul diametrelor caracterizează complexele influențe subterane asupra cărora nu putem nici măcar face presupuneri în această etapă, dar care au înrîuriri profunde asupra naturii terenului și de aceea putem să ne așteptăm să afecteze proprietățile elementelor. Totuși, această variație complexă n-ar ascunde faptul că variația în înălțime nu este întîmplătoare. Peisajul se desfășoară neted — văi urcătoare, platouri joase și vălurite, nu întîmplător juxtapuse: defileul, viroaga și culmea. Există o geologie subiacentă; regatul are aici, și oriunde în altă parte, un ritm, iar alăturarea elementelor are o justificare fundamentală.

Și acum să luăm contact cu realitatea zilnică întorcîndu-ne de la această apreciere a atomilor la lumea

reală și luînd în considerare densitatea (masa pe unitatea de volum) elementelor (fig. 5). Să privim îndeosebi densitățile elementelor metalice ale Deșertului Vestic. Ne închipuim un cearceaf așezat peste Dreptunghiul Vestic și în lungul Istmului, înălțimea reprezentînd densitatea. În general vorbind, altitudinea acestui cearceaf imaginar trece de la partea de sus din Capul Nord-vestic (litiul) spre plumb, aflat la liziera de sud-est a deșertului. Creșterea nu este uniformă, iar o trăsătură particulară este înalta creastă muntoasă care culminează cu iridiul și osmiul. Acestea două sînt cele mai dense elemente dintre toate, fiecare avînd o densitate apropiată de 22 grame pe centimetrul cub; chiar plumbul, cel mai popular exemplu pentru metalele dense, are o densitate de doar 18 grame pe centimetrul cub. Prin contrast, densitatea magneziului, aflat departe în nord, este de doar 3 grame pe centimetrul cub.

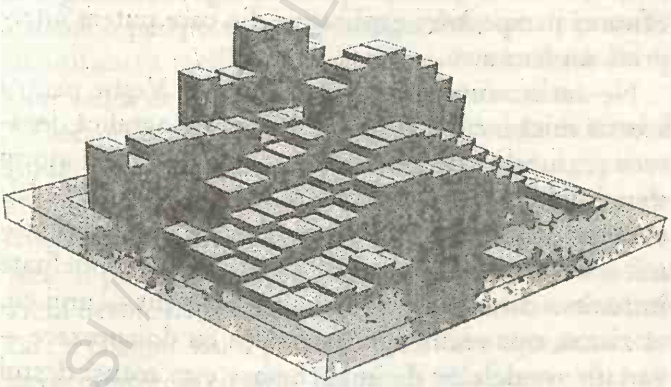


Fig. 5

Regatul reprezentat în termenii densităților elementelor în stare solidă (incluzînd gazele solidificate). De observat densitățile foarte ridicate către sud, în vecinătatea iridiului și a osmiului.

Am adunat acum destule cunoștințe de geografie fizică a regatului pentru a ajunge la primele etape ale unei interpretări a variației unei proprietăți palpabile — densitatea. Am văzut că masele cresc de la nord-vest spre sud-est de-a curmezișul regatului și îndeosebi de-a curmezișul părții estice a Deșertului Vestic. Totuși, am mai văzut — dar nu am explicat — că, deși diametrele atomice variază, ele nu variază prea mult și, în special, că ele nu cresc prea pronunțat de la nord la sud, așa cum se întîmplă cu masele. O masă mare cuprinsă într-un volum mic corespunde unei mai mari densități, astfel încît ne-am aștepta ca elementele de pe coasta sudică și cele imediat apropiate din teritoriul insulei principale să fie deosebit de dense, exact cum s-a observat. Desigur, o înțelegere mai profundă a acestei variații de densitate va veni doar după ce am înțeles motivul variației în diametru a atomilor. Cu toate acestea, am făcut un prim pas caracteristic științei — identificarea perspectivei explicative din care putem interpreta un fenomen.

Ne-am concentrat asupra Deșertului Vestic pentru această mică incursiune în explicarea fiziografică deoarece regiunile sale sînt solide, constituite din atomi sferici, aidoma pietricelelor, care se împachetează laolaltă compact și aproximativ în aceleași modele. Deși atomii unui element dat se pot aranja într-o modalitate întrucîtva diferită de atomii altui element — unii cu, să zicem, opt vecini apropiați, alții cu doisprezece — variația modelelor de împachetare este totuși destul de mică. Elementele Dreptunghiului Estic, dimpotrivă, se împachetează laolaltă într-o mult mai largă varietate de modalități și au, de regulă, un număr mai mic de vecini apropiați și structuri mult mai deschise,

asemănătoare unor rețele. Ca urmare, este mult mai dificil (deși încă posibil) să se coreleze densitatea elementelor Dreptunghiului Estic cu diametrele și masele atomilor lor.

Ochiul nostru fiziografic ne va oferi acum alte priveliști și va privi regatul în altă lumină. Aici ne îndreptăm de la masele și dimensiunile pietricelelor terenului la o anumită varietate de modificare pe care pietricelele o pot suferi. Chimia, la urma urmelor, este știința modificărilor materiei, astfel încît este inevitabil să examinăm acest aspect al regatului. În această etapă a călătoriilor noastre ne vom îndrepta totuși atenția spre cea mai rudimentară schimbare pe care o suferă un atom și vom cartografia această caracteristică în întregul regat. Încă o dată avem să sesizăm un ritm, iar la timpul potrivit acest ritm ne va arăta cum chiar tipurile complicate de modificare chimică sînt reflectate în organizarea regatului. În particular, vom începe prin a stabili o perspectivă asupra regatului care ne permite cuantificarea mediocrității persuasive a carbonului și vom vedea ce îl face fundamental pentru viață.

Fiecare dintre incursiunile noastre în regat la nivelul solului ne înzestrează cu un nou concept. La prima aterizare în regat, am găsit că structura solului a introdus conceptul de structură atomică a elementelor. Acum, pentru a pătrunde în substructura terenului avem nevoie de conceptul de *ion*. Un ion este un atom care a cîștigat sau a pierdut electroni și, ca urmare, a devenit încărcat electric. Electronii sînt particulele fundamentale încărcate negativ care sînt în cea mai mare măsură răspunzătoare de proprietățiile chimice ale atomului. Cînd un atom pierde electroni, el devine încărcat pozitiv — cu una sau două sau trei unități de

sarcină pozitivă, în funcție de numărul electronilor pierduți. Ionii încărcați pozitiv sînt cunoscuți sub denumirea de *cationi*. Cînd un atom cîștigă electroni, el este încărcat negativ. Un electron în plus îl înzestrează cu o unitate de sarcină negativă, doi electroni în plus înseamnă două unități de sarcină negativă și așa mai departe. Atomii încărcați negativ sînt cunoscuți sub denumirea de *anioni*. Aceste denumiri au fost născocite de Michael Faraday în secolul al XIX-lea, cînd a stabilit efectele curenților electrici asupra soluțiilor de ioni. El a descoperit că existau două tipuri de ioni care călătoreau în direcții opuse în prezența electrozilor — un tip spre electrodul pozitiv și altul spre electrodul negativ. *Ion* este un cuvînt grec care înseamnă „călător"; „cat" derivă de la „jos" în limba greacă, iar „an" de la „sus" în aceeași limbă.

Peisajul pe care îl vom construi acum în imaginația noastră va arăta ușurința cu care atomii formează ioni. Cum chimia implică atît de mult formarea sau formarea incipientă a ionilor, acest peisaj este foarte apropiat de descrierea proprietăților chimice reale. După cum vom vedea, există ritmuri complexe și subtile ale teritoriului, și totuși ritmuri explicabile, nu variații întîmplătoare.

Energia necesară pentru a forma un ion încărcat pozitiv — un cation — dintr-un atom al unui element este numită *energie de ionizare* a elementului. Energiile de ionizare pot fi exprimate într-o varietate de unități, dar cea mai convenabilă pentru scopurile noastre — deoarece conduce la o vizualizare promptă a mărimilor și oferă numere nu prea depărtate de 1 — este electronvoltul (eV). Un electronvolt reprezintă energia necesară pentru a trece un electron printr-o

diferență de potențial de 1 volt (1V). Cînd un electron se deplasează de la un electrod la altul într-o pilă electrică standard de 1,5 V, de felul celor folosite în casetofoane sau în aparatele de radio portabile, el degajă o energie de 1,5 eV, iar o baterie de automobil de 12 V eliberează o energie de 12 eV. Energia de ionizare a unui atom de hidrogen este de 13,6 eV. Pentru a vizualiza această energie putem să ne închipuim interiorul unui atom ca avînd un potențial de 13,6 V, iar puncte mult depărtate de atom, spre care se îndreaptă electronii ejectați, ca avînd un potențial de 0 volți. Această energie de ionizare are o valoare medie; valorile caracteristice se întind de la 4 eV (o diferență de patru volți) pînă la 15 eV (o diferență de cincisprezece volți). Energia necesară pentru a îndepărta un al doilea electron este întotdeauna mai mare decît cea necesară pentru a îndepărta primul electron dintr-un atom neutru din punct de vedere electric, iar energia necesară pentru a îndepărta un al treilea electron este încă și mai mare. Pentru simplificare, vom lua în considerare doar *energia de primă ionizare*, adică energia necesară pentru îndepărtarea primului electron dintr-un atom neutru.

Altitudinea peisajului energiilor de ionizare se întinde pe înălțime de la aproape 4 eV (la cesiu) pînă la 25 eV (la heliu). Există o tendință generală care este ușor de sesizat și o varietate de valuri, adînciturи și deviații care trebuie menționate (fig. 6). Tendința generală este de creștere a energiei de ionizare, în general, de la vest spre est de-a curmezișul regatului și de descreștere de la nord spre sud. De exemplu, pe litoralul vestic al metalelor alcaline, energia de ionizare descrește de la 5,4 eV pentru litiu la 3,9 eV pentru cesiu.

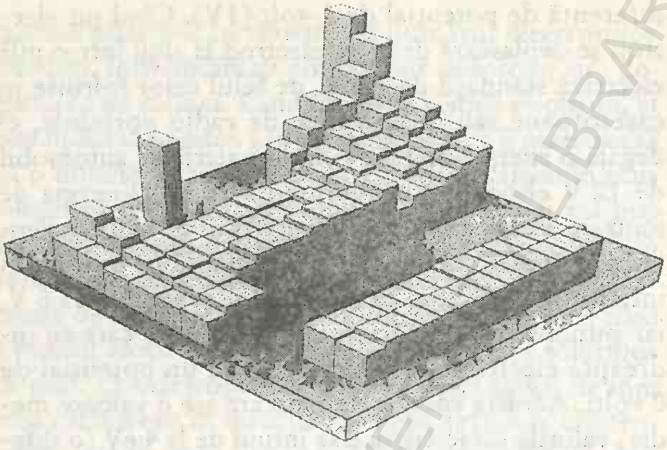


Fig. 6
Regatul (privit dinspre sud-vest) reprezentat în termenii energiilor de ionizare ale elementelor. Cele trei vîrfuri înalte din planul îndepărtat reprezintă fluorul, neonul și heliul.

Aici există o evidentă corelație chimică, deoarece am văzut că, atunci cînd plouă pe această linie de coastă, reacțiile variază de la o molcomă fierbere, la litiu, pînă la o explozie violentă, pe măsură ce mergem spre sud, către cesiu: vigoarea reacției este strîns legată de ușurința cu care atomii pot lăsa să plece un electron. Această tendință poate fi pusă în legătură și cu tendința diametrelor atomilor, deoarece pe măsură ce atomii devin mai mari, de la litiu spre cesiu, în aceeași măsură este mai ușor să se extragă un electron. Ritmurile regatului încep să încropească o armonie în locul unei serii de melodii disparate.

Tendința de creștere a energiei de ionizare de la vest la est nu este cu desăvîrșire uniformă, dar, chiar și pentru un ochi neformat, regiunile Dreptunghiului

Estic sînt semnificativ mai înalte decît cele ale Dreptunghiului Vestic. Cele mai complicate variații apar de-a curmezișul Istmului, iar complexitatea reacțiilor chimice ale acestor elemente reflectă, după cum vom vedea, această variație. Dar, chiar și de-a curmezișul Istmului, creșterea generală a energiei de ionizare se aliniază caracterului tranzițional al acestor metale.

Terenul jos al Deșertului Vestic n-ar trebui să constituie o surpriză. Oricine știe că o caracteristică a metalelor este promptitudinea cu care ele conduc un curent electric, care este un torent de electroni ce trece printr-un solid. Pentru ca acest lucru să fie posibil, cel puțin unii dintre electroni trebuie să fie mobili — adică atomii împachetați laolaltă în solid eliberează electroni într-un bazin comun, care se întinde aidoma unui ocean printre cationii rezultați. Ar trebui să ne închipuim pietricelele acestui teren metalic nu ca atomi, ci sub formă de cationi, scăldați în și menținuți laolaltă de o mare atotpătrunzătoare de electroni. Acești electroni pot răspunde unui cîmp electric aplicat. Dacă acest cîmp este aplicat de către o sursă cu diferență de potențial constantă (familiar denumită voltaj), așa cum e cazul dacă metalul este conectat la electrozii unei baterii, atunci electronii se scurg și formează un curent. În cazul în care cîmpul electric este cel al unei raze incidente de lumină — adică radiație electromagnetică, o undă de oscilație a cîmpului electric și magnetic — electronii pierduți răspund prin oscilarea în concordanță cu radiația, generînd astfel ei înșiși o radiație. Astfel, cînd lumina atinge un metal, vedem o suprafață lucioasă. Cînd suprafața este plată, structura incidentă a radiației este reprodusă în radiația generată, iar noi vedem o imagine în oglindă. Propria noastră

imagine pe o suprafață metalică netedă este o portretizare a valurilor mării de electroni mobili realizată de razele care au fost reflectate de la noi.

Pentru a avea proprietăți metalice e nevoie, într-un fel, de o pierdere de electroni. Cum energiile de ionizare cresc atunci cînd călătorim spre est, Deșertul Vestic deschide calea spre nemetalele Dreptunghiului Estic, acolo unde energiile de ionizare sînt prea mari pentru ca pierderea de electroni să fie posibilă. În parte, motivul creșterii energiilor de ionizare este descreșterea diametrului atomilor pe măsură ce călătorim spre est; dintr-un anume motiv, devine din ce în ce mai dificil să se îndepărteze electronii din atomii compacți care se află spre estul regatului. Acum dispunem de altă corelare cu dimensiunea și, o dată în plus, dacă am putea înțelege variația în diametrele atomilor, atunci am putea să ne aflăm pe drumul înțelegerii variației energiei de ionizare.

De vreme ce nu ne putem aștepta să găsim cationi departe spre est, deoarece energiile de ionizare ale atomilor sînt prea înalte, iar, ca urmare, pierderea de electroni este prea dificilă, poate că ne așteptăm ca în locul lor să găsim anioni (ioni încărcați negativ, bogați în electroni). Formarea anionilor este un proces de fapt mult mai rafinat decît formarea cationilor, dar o unitate de măsură utilă a posibilităților sale este modificarea de energie ce are loc atunci cînd un electron se atașează de un atom. Această modificare de energie este denumită *afinitate pentru electroni* a elementului, iar ea este măsurată de asemenea în mod convenabil în electronvolți. Un atom care are o afinitate pozitivă pentru electroni eliberează energie atunci cînd dobîndește un electron în plus;

unui atom cu afinitate negativă pentru electroni trebuie să i se furnizeze energie pentru a înfrînge aversiunea sa față de dobîndirea unui electron suplimentar. Unele elemente, ca halogenii, au afinități pozitive pentru electroni; altele, ca magneziul și heliul, au afinități negative pentru electroni. *Toate* elementele au afinități negative pentru electroni atunci cînd este vorba de atașarea unui al doilea sau al treilea electron; este necesară energie pentru a atașa un electron de un anion, deoarece atît anionul, cît și electronul, sînt încărcați negativ, iar sarcinile de același semn se resping. Astfel, exact cum am procedat pentru energiile de ionizare, vom lua în considerație doar afinitatea elementului pentru primul electron — adică, modificarea de energie care însoțește atașarea unui electron la un atom neutru.

Peisajul care înfățișează variația afinității pentru electroni este mult mai puțin regulat decît celelalte peisaje pe care le-am văzut. În locurile în care afinitățile pentru electroni sînt negative valoarea plonjează sub nivelul mării; în locurile în care afinitățile sînt mari — adică, în care este eliberată energie atunci cînd sînt formați anionii — valoarea crește brusc. Totuși, și aici poate fi deslușită o tendință: deși abisurile și piscurile par a fi distribuite la întîmplare, abisurile apar spre coasta de vest, iar piscurile spre nord-est, în apropiere de fluor. Gazele nobile ale litoralului estic, cu extraordinar de înaltele lor energii de ionizare, au afinități negative pentru electroni, cel puțin în regiunile nordice, astfel că munții marcînd halogenii coboară brusc. Totuși, principala trăsătură de menționat în acest peisaj este grupul de munți din nord-est și, în mod deosebit, colțul îndepărtat format din azot, oxi-

gen, fluor și clor. Acestea patru sînt elementele cele mai avide de electroni, iar acolo este cel mai probabil că se vor forma anioni.

Aici, de asemenea, există o corelație vagă cu diametrul atomic: afinitatea mare pentru electroni se corelează — în general, cel puțin — cu atomii mici și compacți, care se găsesc în nord-estul regatului. Pentru a înțelege formarea anionilor — și aspectele mai largi ale atașării electronilor la atomi — trebuie să înțelegem de ce există această corelare vagă cu dimensiunea și ce semnificație are însăși variația.

Această topografiere a structurii țării și fiziografia regiunilor ne-au arătat că există corelații între amplasarea regiunilor și anumite proprietăți ale lor — regatul nu este o amestecătură de regiuni autonome alăturate la întîmplare, ci o manifestare a curenților subterani care izbucnesc la suprafață ca proprietăți. Aceasta ne poate ajuta să ne întoarcem acum la o altitudine mai mare și să rezumăm diferite perspective asupra regatului. Peisajul care înfățișează masa atomică face legătura cea mai strînsă cu amplasarea, masa atomică manifestînd o creștere de la nord-vest spre sud-est, cu doar o mică excepție întîmplătoare. În continuare, în ce privește diametrul atomic, elementele manifestă în general o creștere a acestuia atunci cînd se merge spre sud și o micșorare cînd se merge de la vest spre est. Deși diametrul atomic variază mult mai puțin decît masa, această variație are loc într-o modalitate mai complicată: peste aceste tendințe domoale manifestate la scară mare se suprapun prăbușiri locale, încrețituri și cocoașe. Un important aspect suplimentar este acela că elementele de pe coasta sudică și vecinii lor din interiorul insulei principale sînt mai mici în

diametru față de valoarea care ar fi obținută printr-o simplă extrapolare sugerată de valorile din nord. Densitățile elementelor din Deșertul Vestic cresc în general de la nord-vest spre sud-est, iar cele mai mari densități se găsesc în regiunile în care atomii sînt aberant de mici — adică în cazul elementelor coastei sudice și al vecinilor lor din interiorul teritoriului. Și, în sfîrșit, proprietățile leagă de energia manifestată, mai mult sau mai puțin vag, variația în diametrele atomilor. Energia de ionizare este mică pentru metale, și cea mai scăzută dintre toate se află în îndepărtatul sud-vest, în apropierea cesiului. Aceste energii sînt mai mari pentru elementele îngrămădite în colțul de nord-est și nu ne putem aștepta ca aceste elemente să formeze cu ușurință cationi. Afinitățile pentru electroni variază într-un mod și mai complicat, alături de valorile mari găsindu-se adesea valori mici sau chiar negative. Totuși, există o tendință generală de a găsi valorile cele mai mari în îndepărtatul nord-est, astfel încît — cum aceste elemente nu formează cationi — ne putem aștepta de la ele să formeze anioni.

BCU IASI / CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

BCU IASI / CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

Partea a II-a

ISTORIA

BCU IASI / CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

BCU IASI / CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

CAPITOLUL 4

Istoria descoperirii

Mulți chimiști, fizicieni și meseriași au contribuit la descoperirea regiunilor regatului. Unii au dat pe neașteptate de cîte un element; alții și-au planificat călătoriile de explorare în speranța descoperirii unui element a cărui existență deja o bănuiau. O parte a acestei explorări este echivalentul unei îmbunătățiri funciare, devreme ce ea se face în lungul litoralului sudic al insulei principale unde te poți aștepta la crearea unui nou pămînt.

Descoperirea multor elemente se pierde în antichitate. Cine e geniul care a separat prima dată cuprul și a deschis calea progresului civilizațiilor? Cine a identificat primul elementul fier, cel care a consolidat acest progres și a croit drum înainte cu mai multă forță? Nimeni nu știe. Numele acelor Drake, Magellan, frații Cabot și Cook ai chimiei ne parvin doar începînd din secolul al XVII-lea; exploratorii anteriori, aidoma descoperitorilor teritoriilor antice, rămîn anonimi. Chiar și denumirile unor regiuni au origini de fapt necunoscute sau doar deschise speculațiilor. Mai recent, botezarea regiunilor a constituit privilegiul descoperitorilor lor (deși acest privilegiu este în prezent uzurpat

de comitete), iar etimologia numelui unui nou element a fost mai bine documentată. Există încă ceva gîlceavă, deoarece uneori nu este pe deplin limpede cine a revendicat primul, în mod legitim, drepturi asupra unei anumite porțiuni a liniei de coastă a regatului, iar comitetele încearcă să rezolve aceste conflicte locale.

În linii mari vorbind, descoperirea unor elemente noi a fost dependentă de noile tehnologii, iar aceste nou descoperite elemente au dus — la rîndul lor — la dezvoltarea unor încă mai noi tehnologii, așa cum fierul a fost necesar pentru descoperirea titanului. Prima tehnologie hotărîtoare a fost focul, care a mînat compușii separat pe căi care, la început, erau de neînțeles și care în aparență frizau magia. Astfel fierul a ajuns disponibil în mari cantități doar atunci cînd focul a acționat asupra anumitor pietre. Însuși focul, cînd a fost stăpînit cu atenție, iar flacăra a fost atît de slabă încît să realizeze doar o blîndă carbonizare, a condus la izolarea altui element, carbonul (sub formă de mangal), de care, la rîndul lui, meșteșugarii au descoperit că se pot folosi, în combinație cu focuri mai violente, pentru a reacționa cu alte pietre, eliberînd astfel noi metale. Cositorul (staniul), plumbul și alte regiuni ale Istmului aflate în vecinătatea fierului au fost descoperite pe această cale, devenind astfel posibile noi descoperiri.

Cele mai mari descoperiri din regat n-au fost făcute în mod pasiv, dînd întîmplător peste lucruri interesante, în maniera în care un explorator dă peste o nouă regiune, aidoma unui prospector spălînd nisipul aurifer în căutarea aurului sau a unui om al cavernelor culegînd o piatră lustruită sau un meteorit de fier. Mai curînd, ele constituie recompensa unei investigații la-

borioase, determinînd puterea unei noi tehnologii să împingă înainte frontiera cunoașterii umane. Aceste tehnologii au fost utilizate pentru a izola noile elemente care odinioară erau găsite doar în combinație. Cîndva era greu să recunoști o nouă substanță ca fiind un element și s-au comis multe erori. Tehnicile moderne au înlăturat ambiguitatea acestui proces. În zilele noastre putem lua o probă, o putem diviza pînă la nivel atomic, putem cîntări atomii și putem stabili dacă ei sînt sau nu în fond identici — adică, dacă proba este sau nu este constituită dintr-un singur element. Cu multă vreme în urmă, principalul instrument îl constituia tragerea de concluzii din date calitative, ceea ce se dovedește a fi un remarcabil exemplu al puterii rațiunii umane devreme ce o atît de mare parte a regatului a putut fi descoperită pe această cale.

Puține elemente — cel mai evident aurul, cuprul și sulful — pot fi găsite în stare nativă, iar printre aceste elemente se află și gazele atmosferei terestre. Totuși, a fost necesar un anume rafinament pentru a înțelege că acest înveliș invizibil era un amestec de elemente (și, de asemenea, de compuși ai acestora), iar această înțelegere a venit destul de tîrziu în istoria regatului. Cel mai simplu dintre elemente, hidrogenul, este de găsit ceva mai greu în starea sa nativă pe Pămînt, cu excepția pungilor de hidrogen pur prinse sub pămînt prin formarea rocilor. Totuși, hidrogenul este cel mai abundent element din Univers, iar toate celelalte elemente — exceptînd heliul cel abundent, dar inert — pot fi privite ca o contaminare minoră (dar crucială) a acestei substanțe universale. Ubicuitatea cosmică a hidrogenului nu a fost recunoscută pînă la începutul secolului al XX-lea cînd, contrar predicțiilor filozofice,

astronomii au realizat instrumente — diferite tipuri de spectroscoape, în care sînt urmărite caracteristicile radiației absorbite sau emise de substanțe — care le-au permis să determine compoziția elementelor extraterestre*.

Oxigenul a fost descoperit în 1774, prin folosirea unui foc nuclear îndepărtat, Soarele. Englezul Joseph Priestley, chimist din secolul al XVIII-lea și preot nonconformist, a folosit o lentilă pentru a focaliza lumina soarelui pe un flacon cu oxid de mercur și a stîrnit formarea bulelor de gaz dătător de viață. Priestley este probabil considerat — cel mai potrivit — ca *ultima* persoană care să fi descoperit oxigenul, deoarece alții au relatat prepararea lui, dar nu și-au dat seama că acesta era un element. Chimistul suedez Karl Scheele a descoperit de fapt oxigenul cu doi ani înaintea lui Priestley, dar întîrzierile în publicare l-au făcut să piardă prioritatea pe care o merita. Ca și în descoperirea teritoriilor pămîntești, este tipic faptul ca ultima persoană care „a descoperit" o regiune să fie cea de care posteritatea să-și amintească. Hidrogenul fusese preparat cu multă vreme înainte de a fi recunoscut ca un element de către excentricul și misoginul sihastru și chimist Henry Cavendish (din a cărui avere avea să se nască mai tîrziu Laboratorul Cavendish de la Cambridge). Cu hidrogenul și cu

*) Filozoful pozitivist Auguste Comte susținea în 1835, în legătură cu Soarele și alte corpuri cerești, că „înțelegem posibilitatea determinării formelor lor, distanțelor pînă la ele, a dimensiunilor lor și mișcărilor lor, în timp ce niciodată și în nici un fel nu vom fi în stare să le studiem compoziția chimică, structura mineralogică și nicidecum natura ființelor organice care trăiesc pe suprafața lor". Aceasta e trăinicia speculației filozofice făcute stînd comod în fotoliu.

oxigenul ca elemente identificate, a fost un pas ușor să argumentezi (așa cum a făcut-o Cavendish în 1781) că apa, care se formează atunci cînd prin amestecul celor două gaze trece o descărcare electrică, nu este ea însăși un element.

La începutul secolului al XIX-lea a apărut un foarte important progres tehnologic, care încă și azi cunoaște o largă utilizare comercială. *Electroliza* înseamnă descompunerea materiei prin trecerea unui curent electric prin ea. După realizarea pilelor voltaice și a altor dispozitive care generau curenți constanți din reacții chimice, a fost cît se poate de natural să se observe ce putea să se obțină din noul fenomen al electricității. Se știa că electricitatea putea să zgîlțîie; ce putea fi mai natural decît a lămuri dacă electricitatea putea să zgîlțîie materia aflată în diferite forme? În 1807, la nou întemeiata Royal Institution of Great Britain din Londra (primul laborator din lume construit la comandă), Humphry Davy a aplicat un curent electric potasei caustice topite, cea pe care o cunoaștem a fi hidroxidul de potasiu, și a obținut boabe ale unui metal argintiu reactiv pe care l-a numit potasiu (kaliu). Acest metal, așa cum am văzut, este amplasat pe litoralul vestic al Regatului Periodic; după cîteva zile, lui Davy i-a venit ideea să aplice aceeași tehnică unui compus similar, soda caustică (hidroxidul de sodiu), și a obținut vecinul de la nord al potasiului, pe care l-a botezat sodiu. Modestia era la mare preț în acele timpuri îndepărtate: dacă ar fi avut ca model canoanele moderne, ar fi trebuit să fi numit aceste elemente royalinstituțiu și londoniu, sau chiar humphriu și davyiu.

Curînd electroliza a fost aplicată la tot felul de substanțe. Magneziul a fost cules din compușii săi de către

Davy în 1808, calciul în 1808 (tot de către Davy), iar stronțiul tot în 1808 (din nou de către Davy). Cel mai mare val înregistrat în cunoașterea regatului și extinderea regiunilor sale în decursul istoriei a început sub impactul acestei tehnici importante, iar imperiul a crescut cu ajutorul unor contribuții din întreaga Europă. Exploratorii au cartografiat promontoriul răsăritean al halogenilor, readucînd cunoașterea clorului (descoperit de Scheele în 1774, dar botezat și recunoscut ca un element de — cine altcineva? — Davy, în 1810) și a bromului (descoperit nu de către Davy, ci de către Antoine-Jérome Balard, în 1826). În deceniul al șaptelea al secolului trecut, aproape șaizeci dintre regiunile regatului erau cunoscute. Fluorul, culmea lanțului muntos al reactivității, a rămas necartografiat de exploratori pînă la sfîrșitul secolului al XIX-lea, dar nici acest Everest n-a rezistat în cele din urmă electrolizei și a fost adăugat regatului de către Henri Moissan în 1886.

Un avantaj al deținerii unei diagrame prezentînd regatul este acela că ea sugerează unde s-ar cuveni să se întindă alte regiuni și, pornind de-aici, unde ar trebui să-și plănuiască exploratorii călătoriile. Mai mult, deoarece regatul nu este o amestecătură de regiuni, ci o țară cu vecini de același sînge, caracteristicile unei regiuni lipsă pot fi prezise — în linii mari, cel puțin, și în unele aspecte de detaliu — observînd caracteristicile vecinilor săi. Chimistul rus Dmitri Mendeleev, care este una dintre principalele personalități istorice ale regatului și care l-a reprezentat în 1869 în forma sa actuală, a demonstrat puterea acestei abordări în privința descoperirii. De exemplu, el a identificat un gol în apropierea siliciului, pe care, în așteptarea unui

nume, l-a denumit *eka*-siliciu (*eka* fiind denumirea în sanscrită a numeralului 1) și i-a prezis proprietățile pe baza cunoștintelor sale privind ceea ce amplasarea o reclama și ceea ce știa despre siliciu. Cînd a fost descoperită această regiune (germaniul) de către chimistul german Clemens Winkler în 1886, s-a dovedit că Mendeleev a raționat în fond corect. Același lucru a fost valabil pentru *eka*-bor (scandiul, neizolat pînă în 1936, deși era cunoscut din 1876) și *eka*-aluminiu (galiul, izolat în 1875). Marie Curie, această curajoasă exploratoare a periculosului litoral sudic al regatului, în colaborare cu soțul ei, Pierre, a fost călăuzită către izolarea radiului din tone de pehblendă, un minereu de uraniu, de anticiparea făcută de ea cu privire la proprietățile probabile ale elementului, anticipare bazată pe cunoașterea bariului, vecinul nordic al radiului.

Acest proces de explorare progresivă este fără îndoială foarte bun, dar el poate da greș cîteodată. Un exemplu spectaculos al acestui eșec se află în Dreptunghiul Estic. Așa cum am văzut, pe litoralul vestic al regatului există o faleză abruptă, formată din metalele alcaline extrem de reactive, care țîșnește din mare, iar partea falezei dinspre teritoriul insulei este constituită dintr-un lanț de munți ceva mai puțin înalți, al metalelor alcalino-pămîntoase. Aceste culmi vestice de reactivitate își găsesc replica pe banda estică a Dreptunghiului Estic — prin regiunile reactive ale oxigenului și sulfului și, chiar dincolo de ele, prin înaltul lanț muntos al halogenilor care, se credea, plonja brusc spre marea pustie. Dar această simetrie a regatului era o iluzie, deoarece la poalele stîncilor de halogeni se întinde litoralul gazelor inițial rare, mai tîrziu inerte, iar acum nobile.

Aici a apărut atunci o surpriză! În 1894, chimistul William Ramsay și fizicianul Lord Rayleigh au remarcat că există o diferență între densitatea gazului azot obținut prin descompunerea compușilor cu azot și densitatea aceluiași gaz obținut prin izolarea lui din atmosferă. (Ar trebui spus că fenomenul nu a fost chiar în totalitate neprevăzut; cu multă vreme în urmă, în 1785, Henry Cavendish făcuse speculații că poate ar exista un gaz nereactiv amestecat cu azotul atmosferic, dar ideea lui n-a fost urmărită.) Rayleigh credea că diferența dintre densități ar putea fi explicată dacă azotul din compușii descompuși cuprindea o substanță necunoscută, mai ușoară; Ramsay a îmbrățișat viziunea opusă, presupunînd că azotul atmosferic era contaminat cu un gaz mai greu. La momentul oportun, el a găsit că putea separa „azotul" atmosferic în azot și un alt gaz care era de departe mult mai puțin reactiv; atunci a descoperit argonul (denumirea vine de la cuvîntul grecesc pentru „leneș"), prima regiune a benzii joase de coastă marcîndu-și apariția. Așa cum a remarcat el, argonul e departe de a fi un gaz rar, fiind chiar mai abundent în atmosferă decît este dioxidul de carbon; argonul a fost chiar neașteptat, terenul regatului nedînd vreun indiciu al existenței sale. Cînd ne vom întoarce la substructura regatului — principiile fundamentale ale organizării sale — vom vedea că existența argonului putea fi prezisă: ea este vitală pentru modelul subteran. Dar, în 1894, acest model era necunoscut, iar litoralul gazelor nobile era o Lume Pierdută. (Pentru că a venit vorba, modelul subteran interzice existența unei Lumi Pierdute pereche, plasată jos, aflată dincolo de prăpastia vestică, astfel încît tinerii exploratori sînt avizați să nu-și irosească timpul, iar

cei bătrîni speculațiile cu privire la ceea ce poate să fie acolo. Este destul de probabilă o îndepărtată Atlantidă, dar ea cu siguranță nu se întinde spre vest.) Povestea continuă.

Descoperirea argonului a condus la constatarea că pe suprafața de acolo existau mai multe regiuni, iar neonul, kriptonul și xenonul au fost descoperite curînd, toate de către William Ramsay, în 1898. Heliul, promontoriul singuratic al acestei benzi de regiuni și punctul ei cel mai nordic, fusese deja descoperit — nu pe Pămînt, ci în Soare, de unde i se trage și numele. Descoperirea heliului este o poveste ieșită din comun. În primul rînd, heliul constituie aproape 25% din Univers, totuși el s-a strecurat invizibil și nemenționat pînă în 1868, cînd a fost observat spectroscopic în timpul unei eclipse de soare. În al doilea rînd, în pofida abundenței sale, heliul n-a fost izolat în laborator pînă în 1895, cînd Ramsay, preocupat de zvonul că a fost descoperit un gaz necunoscut, obținut prin încălzirea minereurilor de uraniu, a reușit să izoleze heliul. În cele din urmă, deși a fost identificat în cea mai fierbinte parte a cosmosului local, heliul este în fapt folosit în tehnologia temperaturilor cele mai joase. Heliul lichid, care se obține prin răcirea heliului gazos și supunerea lui la o comprimare, este vital pentru criogenie și criotehnologie, iar, pînă de curînd, a constituit singura cale de realizare a supraconductibilității.

La începutul secolului nostru, doar o regiune a litoralului estic mai rămînea să fie descoperită. Încă o dată, William Ramsay a fost cel care a bătătorit calea spre regiune, izolînd gazul radioactiv radon, în 1908. Desigur, Ramsay avea colaboratorii săi; au existat descoperiri independente și disputate, iar însuși Ramsay

a lucrat cu o echipă de alți chimiști, dar nici o altă fișie completă de teritoriu al regatului nu aparține în așa mare măsură unei singure persoane.

Un alt val în cartografierea regatului a apărut la mijlocul secolului al XX-lea, sub presiunea războiului. Proiectul Manhattan în deceniul al patrulea, al cărui scop era construirea bombei atomice, s-a dovedit a fi un uriaș proiect de recuperare a solului și, de asemenea, extinzînd Regatul Periodic în exterior în lungul litoralului sudic, au fost obținute și identificate noi elemente. Regatul s-a extins mai întîi în banda sudică a insulei îndepărtate de țărm, insula aflată în marea de la sud, astfel fiind descoperite metalele cunoscute sub denumirea colectivă de actinide. La începutul Proiectului Manhattan, Insula Sudică, așa cum s-a remarcat, se termina cu uraniul. Acest element are totuși capacitatea de a zămisli noi elemente atunci cînd este organizat adecvat în ceea ce atunci erau denumite în mod evocator pile, iar azi poartă numele de reactori nucleari. Uraniul a dat naștere neptuniului și plutoniului, iar coasta sudică a insulei a început să se extindă spre est. Cercetarea benzii nordice a Insulei Sudice — lantanidele — a beneficiat de această extindere a benzii sudice. Au trebuit să se dezvolte noi tehnici pentru a separa actinidele, care erau aproape identice, iar aplicarea acestor tehnici — în particular a *cromatografiei,* prin care speciile au fost separate în funcție de timpul care le este necesar să călătorească printr-un mediu vîscos — în regiunea benzii nordice a ușurat enorm separarea lantanidelor.

Și mai recent încă, recuperarea solului a fost realizată prin sinteză — adică, prin fabricarea unor elemente din componente mai simple. Elementele extrem de efemere

ale litoralului sudic al insulei principale — dubniul, joliotiul, rutherfordiul, bohriul, hahniul și meitneriul — au fost obținute în mașini care constituie alte rezultate ale Proiectului Manhattan: ciclotroane, sincrotroane și acceleratori lineari. A obține cîțiva atomi trecători ai unuia dintre aceste elemente, în fond inutile, înseamnă să revendici o întreagă nouă linie de litoral a regatului și, poate, să alcătuiești varietăți ale materiei care de fapt sînt inexistente, ele nefiind găsite niciunde altundeva în sistemul solar. Pentru a obține atomi noi, atomul este azvîrlit în alt atom. Dacă ciocnirea este reușită, ei se amalgamează și, timp de o fracțiune de secundă, rămîn împreună pentru a forma un atom al unui nou element. Nedescoperita Atlantidă poate să se întindă în apropierea acestor avanposturi sudice ale regatului. Opinia științifică actuală susține că, deși litoralul sudic constă din regiuni efemere, mai departe în oceanul de instabilitate se poate întinde o Insulă a Stabilității, unde există elemente încă total necunoscute și care au poate durate de viață mai mari decît ale celor pe care ne chinuim să le preparăm. Aproape sigur această insulă, odată recuperată, va fi în mare măsură inutilă datorită scurtimii vieților regiunilor sale, deoarece atomii acestor noi elemente ar putea supraviețui doar cîteva luni. Însă, doar posibilitatea ca aceste regiuni să existe aici este suficientă pentru a-i inspira pe Columbii de pe tărîmul nuclear să înceapă călătoria spre ele. Chiar simpla lor cunoaștere ar constitui un lucru neprețuit.

CAPITOLUL 5

Denumirea regiunilor

De îndată ce explorarea regatului a devenit o știință, și nomenclatura regiunilor a fost sistematizată într-o anumită măsură. Așa cum am observat, botezarea unei regiuni, cu anumite limitări datorate decenței, a constituit privilegiul descoperitorului. Aceste limitări sînt datorate în mare bunei-cuviințe. Trivialitatea (mickey-mousiu), blasfemia (godiu) și obscenitatea (***iu) sînt nepermise și n-ar fi oricum acceptate de comunitatea științifică, dar s-au strecurat unele întîmplări hazlii, poate neluate în seamă și involuntare, ca de exemplu cea cu galiul, denumit astfel de descoperitorul său, François Lecoq de Boisbaudran, a cărui denumire se presupune că vine de la Franța (din latină, *Gallia*), dar mult mai probabil de la propriul său nume (de la *Gallus gallus*, în latină, pentru *cocoș* în franceză, *le coq*). În zilele noastre, comitetele calcă mai apăsat pe coridoarele regatului și aspiră să facă ordine în procesul botezării. Această aspirație este deosebit de acută acum cînd atît de mult din bugetul științific al unei națiuni poate fi cheltuit pentru recuperarea coastei sudice, unicul loc unde există spațiu pentru noi denu-

BCU CLUJ UNIVERSITY LIBRARY

miri (deși cîrpăceli de ocazie ale numelor stabilite mai au loc oriunde în regat).

O răsturnare a istoriei poate fi utilă aici. În anii din urmă, a fost născocită o schemă a nomenclaturii care depersonalizează regiunile și care face din botezarea lor mai curînd o procedură sistematică decît o modalitate de a te mîndri și un pașaport personal spre un fel de nemurire. Aici, la fel ca sub tabelele multor comitete, poezia și mîndria zac călcate în picioare, date deoparte în favoarea unei modalități prozaice: unium pentru primul element (hidrogenul), biium pentru al doilea element (heliu), pînă la decium pentru cel de-al zecelea (neon) și încă pînă la unnilmillium pentru al o sutălea (fermiu; Fermi, nu plînge!) și așa mai departe, în vecii vecilor, sînt comise mai departe unnilsepticum (107); unniloctium (108) și tot așa mai departe. Sînt multe de spus în favoarea acestei proceduri, iar scopul ei sincer, pe care întrucîtva l-am denaturat, ar trebui reținut. În primul rînd, noul sistem nu atrage după sine înlocuirea numelor cunoscute ale regatului — ca și cum Statele Unite ar trebui să fie rebotezate Unland, iar Regatul Unit Quadquadland, rînduite poate după numărul de telefoane. Aceste denumiri ținînd mai curînd de sistematică, ele sînt destinate să le îngăduie exploratorilor să vorbească despre ceea ce încă n-a fost botezat. Dacă Atlantida există într-adevăr spre sud, atunci potențialii exploratori dețin de pe acum limbajul pentru a-și depăna poveștile despre proprietățile regiunilor ei, fără să trebuiască să anticipeze istoria, presupunînd că o regiune anumită va fi cîndva amundseniu sau scottiu. Odată steguleţele înfipte în regiuni, poezia poate înlocui proza, iar nemurirea poate fi conferită.

Mult mai interesantă decît măiestrita utilitate a nomenclaturii sistematice este amestecătura de denumiri care a răsărit în decursul timpurilor. Denumirile vechi, ale căror origini se pierd sau sînt abia perceptibile în negurile istoriei (aidoma celor ale unor state europene), includ sulful (din sanscrită, *sulvere*), fierul (*iron* în engleză, de la cuvîntul anglo-saxon *iron*), aurul (*gold* în engleză, de la cuvîntul anglo-saxon *gold*) și argintul (*silver* în engleză, de la cuvîntul anglo-saxon *seolfor*). Cuprul, deși cunoscut de milenii, și-a luat numele englez (*copper*) pe calea latină, *cuprum*, de la Cipru, unde a fost găsit în mare cantitate.

Cînd preistoria și-a făcut drum spre era istoriei, originile pot fi precizate cu mai multă certitudine. Deja am văzut că Humphry Davy a denumit sodiul și potasiul după sursele lor, soda și potasa. O sursă similară de nume se identifică chiar spre estul Dreptunghiului Vestic al metalelor: calciul este prezent în varul nestins (în latină — *calx*), iar denumirea magneziului vine de la minereurile obținute dintr-un lut alb, *magnes carneus*, găsit în Magnesia, o provincie a anticei Tesalii. De partea cealaltă, în Dreptunghiul Estic, azotul (de la cuvîntul grec *nitron* căruia i s-a adăugat *genos,* sau „cel care produce salpetru"*) este denumit așa recunoscîndu-i-se prezența în nitrați. Denumirea vecinului său de la răsărit, oxigenul (de la cuvîntul grecesc *oxys*, caracter acid), constituie o eroare. În 1777, cînd Antoine Lavoisier l-a denumit așa, despre oxigen se credea în general că este un constituent universal al acizilor. Această opinie a fost înfrîntă de atunci încoace (acidul clorhidric, un compus din hidrogen și clor, este

* Nitrogen (*n. t.*).

un contraexemplu), dar numele elementelor, ca și diminutivele copilăriei, dăinuie.

Unele elemente au fost botezate pe baza culorii lor. Două exemple ieșite din comun sînt clorul, un gaz de un spălăcit galben-verzui, de la cuvîntul grec *chloros* (verde-gălbui) și iodul, un element solid de la cuvîntul grec *ioeides* (violet). Culorile mai apar și în denumirile altor elemente, dar ele nu sînt imediat evidente pentru un element. De exemplu, rubidiul, de la cuvîntul latin *rubidus* (roșu intens sau aprins), nu este un element roșu: el este de cenușiul metalic caracteristic Deșertului Vestic. Totuși, compușii rubidiului, atunci cînd sînt arși într-o flacără, emit o incandescență roșcată. Tot așa, cesiul produce o flacără albastră precum cerul și este botezat după cuvîntul latin pentru această culoare (*caesius*). Taliu, de la cuvîntul grecesc *thallos* (fulger verde), i s-a spus elementului respectiv deoarece compușii lui produc o flacără ca un fulger verde. Rădăcinile denumirilor elementelor se întind chiar mult mai profund în personalitatea unor regiuni. Vanadiul din Istm, de exemplu, formează o serie de compuși care cuprind un curcubeu de culori, iar acest elegant element este botezat după zeița scandinavă a frumuseții. Coloratul crom, de la cuvîntul grec *chroma* (culoare), a primit de asemenea un nume care reflectă gama și vioiciunea coloristică a compușilor săi. Iridiul, de la cuvîntul atît grec, cît și latin, *iris* (curcubeu), și-a primit numele tot din acest motiv ca și rodiul, de la cuvîntul grec *rhodon* (trandafir).

Alte simțuri, alte denumiri. Nasul este un însoțitor constant al unui explorator pe tărîmul chimiei și nu e surprinzător faptul că unele elemente și-au primit numele în semn de recunoaștere a reacției nasului. O mi-

reasmă plăcută este rareori o însușire a elementelor; cînd nasul e activ, răspunde în general cu o strîmbătură. Bromul, de exemplu, își ia numele din cuvîntul grec pentru „duhoare" (*bromos*). Mai departe în vest, în Istm, se întinde osmiul, un alt element mirositor (*osme* este cuvîntul grec pentru „a mirosi").

Multe regiuni sînt denumite după amplasările care beneficiază de o asociere deosebit de strînsă cu apariția lor. Strontiul, denumit așa de la localitatea Strontian, în Scoția, este unul dintre exemple, dar există multe altele. Continentele au fost atacate pentru a da nume regiunilor: Europa a fost împrumutată pentru europiu, iar America, probabil cea de Nord, și-a împrumutat numele americiului. Încă nu există asiu, africiu sau australiu și probabil că niciodată nu vor exista nici arcticiul, nici antarcticiul. Numeroase țări și trăsături geografice, într-o deghizare sau alta, se ascund în denumirile regatului, iar un strașnic joc în serile de iarnă, în preajma focului din cămin, este acela de a le identifica. Scandiul de la Scandinavia, franciul de la Franța și germaniul de la Germania, e ușor să le identifici. Mai greu e cu reniul de la Rin (în latină: *Rhenus*) și cu ruteniul pentru Rusia (în latină: *Rhutenia*), deoarece a fost descoperit în Urali. În peisaj pot fi reperate state și orașe; între ele se află californiul și berkeliul, ambele în semn de recunoaștere a copleșitoarei contribuții a Universității din California de la Berkeley la extinderea regatului. Așa cum am mai menționat, acest procedeu s-a mai aplicat și în travesti, iar uneori un oraș constituie o prezență etimologică subterană: hafniul, din vestul Istmului, constituie mai mult decît o superficială deghizare pentru Copenhaga (în latină: *Hafnia*). Holmiul, unul dintre lantanide,

este probabil ușor de înțeles, ducîndu-ne cu gîndul la Stockholm (în latină: *Holmia*). Dedesubtul lutețiului se află Parisul (Luteția, Orașul Luminii). Totuși, nici un loc nu este comemorat mai mult în regat decît orășelul suedez Ytterby, chiar lîngă Stockholm. Ytterby a fost un nume dilatat, perforat sau deformat pentru a recunoaște bogăția sa ca sursă de minerale, unde prospectorii lumii reale au găsit numeroase regiuni ale regatului. Ytriul și lantanidele yterbiu, terbiu și erbiu, deși nu contribuie încă în mare măsură la economia lumii, sînt totuși monumente comemorative ale acestei prolifice regiuni a globului terestru.

Există apoi oamenii care-și găsesc monumentul lor etern în regat. Lecoq, așa cum am văzut, a făcut o mică glumă cu galiul. Cei mai mulți oameni nu-și îngăduie să dea elementelor propriile lor nume, dar alte nume de persoane au fost date de comitete în onoarea candidatului la titlu. Astfel se cade ca litoralul sudic, inclusiv banda sudică a Insulei Sudice, să comemoreze pentru veșnicie — sau atîta vreme cît existăm — contribuțiile lui Albert Einstein (einsteiniu), Enrico Fermi (fermiu), Dmitri Mendeleev (mendeleeviu), Alfred Nobel (nobeliu, pentru stimularea descoperirii, poate, mai curînd decît pentru descoperirea în sine) și Ernest Lawrence (lawrenciu, în cazul cercetătorului de la Berkeley care a inițiat bombardamentele atomului utilizate acum în lumea întreagă pentru recuperarea teritoriilor din regat). Cele mai recente denumiri care au fost alocate regiunilor coastei sudice a insulei principale, unde atomii există mai puțin timp decît ai clipi din ochi, au garantat nemurirea cîtorva oameni de știință (fig. 7). Denumirile atribuite de comitetele internaționale acestor elemente — în unele cazuri, împo-

triva voinței adevăraților descoperitori — încă sînt cauza unor iritări și nu sînt nicicum universal acceptate. Aici, în prezent se întind dubniul* (de la Dubna, un loc al contribuției sovietice la extinderea regatului), joliotiul (de la Frédéric Joliot-Curie), rutherfordiul (de la Ernest Rutherford), bohriul (de la Niels Bohr) și hahniul (de la Otto Hahn). Dar există și femei comemorate: curiul (pentru Marie Curie) se găsește în banda sudică a Insulei Sudice, iar meitneriul (pentru Lise Meitner, colaboratoarea lui Hahn) se întinde pe coasta sudică în apropiere de hahniu și constituie în prezent ultimul avanpost al regatului.

Zeii, ca și muritorii, și-au împrumutat numele. Prodigioasa forță a titanilor (copiii Geei, zeița greacă a Pămîntului) este comemorată în titan, iar de Prometeu

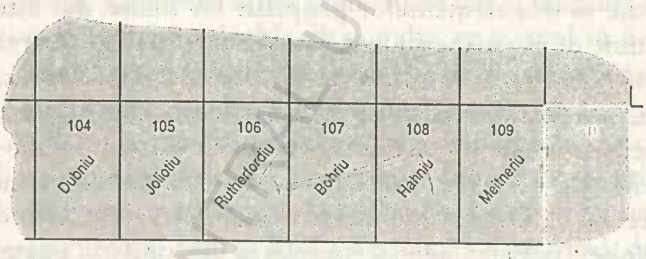


Fig. 7

O dispută cu privire la nomenclatură are loc în această regiune a regatului. Partizani ai altor denumiri sau ai permutărilor acestor nume au propus: suprimarea numelor „dubniu" și „joliotiu" și rebotezarea elementelor 104 și 105 rutherfordiu și, respectiv, hahniu; numirea elementului seaborgiu, în onoarea lui Glenn Seaborg; acordarea borului numele său întreg de nielsbohriu; precum și rebotezarea elementului 108 — hassiu, în onoarea landului german Hessa.

---

* Denumit o vreme kurceatoviu (*n. t.*).

ne amintește lantanidul prometiu. Mercur cel iute de picior și-a dat numele rapid curgătorului argint viu (mercur). Spiritele malefice sînt și ele reprezentate, ca de exemplu în nichel și cobalt, ambele de la cuvintele germane pentru „drăcușor" (*Nickel* și *Kobold*), dar și pentru dificultățile pe care le-au pricinuit în extragerea cuprului din minereurile sale. Cea mai memorabilă caracteristică a lantanidului disprosiu pare să fi fost aceea că izolarea sa a fost foarte dificilă (în greacă: *dysprositos*, „greu de ajuns la el"). Unele elemente par să fi fost denumite astfel din greșeală: în afara oxigenului, o denumire pe care deja am menționat-o, există metalul greu molibden al cărui nume vine de la cuvîntul grec *molybdos* (plumb); la fel se întîmplă cu platina cea argintie, a cărei denumire vine de la *platina*, un diminutiv de la cuvîntul spaniol *plata* (argint).

Corpurile cerești, altele decît cele cu nume de zeități, și-au dat numele multor elemente. Denumirea seleniului vine de la Lună (în greacă: *selene*), datorită aspectului său argintiu. Lantanidul ceriu a fost descoperit în 1803, la doi ani după descoperirea asteroidului Ceres, iar paladiul, tot în 1803, aproape în același timp cu descoperirea asteroidului Pallas. Banda sudică a Insulei Sudice — elementele făurite în război pentru scopurile războiului — îi comemorează pe zeii războinici Pluton, Neptun (care, în afară că era zeul mării, mai era și zeul cutremurelor) și Thor, zeul norvegian al tunetului. E oarecum ciudat faptul că nu există nici martiu, nici venusiu. Dacă Atlantida se va înălța din ocean în vremuri de pace, atunci poate că zeii și zeițele mai bine dispuse își vor da numele și am avea afroditiu și venusiu sau replicile lor din alte tradiții decît cele greco-romane.

CAPITOLUL 6

Originea uscatului

Regiunile regatului au trebuit să se formeze; ele n-au existat aici dintotdeauna. În acest cosmos imaginar, ele au căzut ca ploaia și au umplut întregul teren. Una dintre aceste ploi de elemente a căzut cît ai clipi din ochi, de îndată ce Universul nostru real a luat ființă, cu aproape cincisprezece miliarde de ani în urmă. În momentul Big-Bangului, cataclismul care a dat viață spațiului-timp și a marcat întemeierea universului nostru, îndepărtata Insulă Nordică a hidrogenului s-a retras din marea de nimic și a luat ființă. Hidrogenul a fost primul element care s-a format. Doar acest firav punct de sprijin al regatului s-a format în acest moment al imensității cosmice, dar el a constituit o sămînță din care avea să răsară întreaga copleșitoare bogăție a regatului.

Aproape de îndată ce s-a înălțat deasupra valurilor insula hidrogenului, a apărut și Capul Nord-estic al heliului. În violența acestor prime trei minute, atomii de hidrogen se zdrobeau unul de altul, în tumultul și densitatea furtunii primare, așa încît au fuzinat în heliu, iar prima regiune a insulei principale a regatului s-a înălțat deasupra valurilor. Văzută ca un peisaj al

abundenței cosmice, insula depărtată a hidrogenului este o coloană impozantă înălțată spre cer, iar heliul, Capul Nord-estic, este o coloană solidă cu înălțimea reprezentînd un sfert din cea a hidrogenului.

Aici regatul a rămas cu acești doi piloni singuratici care, de fapt, indicau bogăția ce avea să vină. Au trecut minute, apoi ani, mii iar apoi milioane de ani, dar regatul rămînea același. Nu exista încă vreun semn al viitorului imperiu.

Deși compoziția sa materială rămînea constantă, s-au mai întîmplat alte lucruri în Univers. Acum, o dată ce materia era formată — chiar dacă era o materie atît de primitivă și firavă —, evenimentele s-au petrecut astfel încît să lase o urmă evidentă, o amintire, o moștenire. Norii mari ai acestor două elemente primitive care au pătruns pretutindeni în spațiu nu erau pe deplin uniformi, iar slaba atracție gravitațională dintre atomi a condus la formarea unor regiuni de densitate mai mare și la o înceată golire a altor regiuni. Universul a devenit plin de cocoloașe. În cele din urmă, a început să se formeze structura, iar ultimul (sau, cel puțin, în prezent ultimul) descendent al acestei învălmășeli ești tu și sînt eu.

Structura incipientă a sporit, iar diferențierea materiei din spațiul gol a devenit mai pronunțată. Chiar și învălmășeala de cocoloașe nu era uniformă, iar în interiorul norilor enormi de densitate mai mare existau regiuni mai mici cu densități chiar mai mari decît acestea. La timpul potrivit, acestor regiuni mai mici le-a fost dat să devină stele, iar regiunilor mai mari, care le conțineau pe acestea mai mici, să devină galaxii care încă anină deasupra noastră pe cer. În vreme ce aceste evenimente aveau loc, iar neobișnuita învălmă-

șeală de cocoloașe se forma, Insula Nordică și Capul Nord-estic rămîneau aproape singurele două elemente care existau în Univers într-o cantitate semnificativă.

Formarea stelelor, aidoma torentului descoperirii care a însoțit progresele noastre în tehnologie și în desfășurarea energiei, ne-a deschis noi posibilități, iar curînd suprafața oceanului imaginar a fost tulburată prin apariția treptată a unor noi regiuni ale regatului. Aceste noi regiuni au izbucnit prin apă în îndepărtatul nord-vest, formînd o bandă a liniei nordice de coastă, dilatînd vestul de la litiu la beriliu, și transversal către elementele nordice ale Dreptunghiului Estic. Acum, în sfîrșit, în vecii vecilor (poate), turnurile gemene din nord nu mai erau singure.

Sursa acestor noi uscaturi — originea marii majorități a elementelor — a fost răvășeala din interiorul stelelor. O dată stelele formate, atomilor de hidrogen din interiorul lor li s-au creat noi posibilități să se ciocnească unul cu altul și și-au recăpătat vigoarea pe care o aveau inițial, cu un miliard de ani în urmă. Hidrogenul se ciocnea de hidrogen și adăuga regatului încă o cantitate mică de heliu. Insula Nordică și-a pierdut puțin din altitudine, iar Capul Nord-estic s-a înălțat ușor, dar modificările erau abia perceptibile. Această eroziune și înălțarea corespunzătoare ei continuă și în zilele noastre și va continua pînă cînd stelele se vor stinge, deoarece energia eliberată în acest proces de *fuziune nucleară* este combustibilul care luminează stelele, inclusiv steaua noastră, Soarele. Mai mult, procesul de fuziune a dat naștere altor elemente: hidrogenul a fuzionat cu heliul și atunci s-a ivit din mare litiul. Litiul s-a ciocnit cu hidrogenul, heliul cu heliul și așa a luat naștere beriliul.

În pofida acestei răvășeli stelare, nu prea mult din hidrogenul și heliul primordial a fost convertit în alte elemente, dar faptul că existau aceste alte forme ale materiei, deși doar ca o neînsemnată contaminare, este vital pentru existența noastră. Aceste alte elemente s-au format în diferite cantități și sînt prezente în diferite abundențe cosmice. Pentru a observa neregularitățiile terenului regatului atunci cînd reprezentăm grafic abundența cosmică în funcție de amplasare, trebuie să coborîm de la altitudinile cutezătoare ale hidrogenului și heliului și să inspectăm unduirile delicate ale celei mai mari părți din regat care se află la poalele lor. Văzut de la altitudinea hidrogenului, terenul insulei principale este aproape o cîmpie uniformă, coborînd din nord, înălțîndu-se spre fier și apoi surpîndu-se din nou spre regiunile care abia modifică suprafața de-a lungul litoralului sudic. Totuși, atunci cînd aterizăm pe regiunea litiu și călătorim spre est, uscatul nu e nici pe departe neted. De fapt, există o ondulare pronunțată, litiul, beriliul și borul marcînd terenul coborît, iar carbonul, azotul și oxigenul, cele mai abundente elemente după hidrogen și heliu, formînd marile înălțimi, cu un vîrf ceva mai puțin înalt, situat spre sud, fierul.

Pentru a înțelege aceste ondulări și altele pe care avem să le întîlnim în călătoria prin regat, trebuie să dispunem de un minimum de cunoștințe despre structura internă a atomilor. Pietricelele solului nu sînt solide, așa cum sînt pietricelele adevărate, ci au o structură internă (fig. 8). Într-adevăr, dacă am ridica o pietricică de oriunde în regat, am fi surprinși de greutatea ei și uimiți de prea firava ei existență. Un atom este, de fapt, după cum s-ar părea, aproape nimic. Doar un

ochi supraomenesc de ager va putea zări un punct microscopic în centrul acestui funigel — un punct care, în pofida dimensiunii sale infinitezimale, este răspunzător de aproape întreaga masă a atomului. În ceea ce ne privește, nucleele sînt constituite din două tipuri fundamentale de particule, *protoni* și *neutroni*, prinși strîns laolaltă (excepția o constituie hidrogenul, cu nucleul lui care constă doar dintr-un singur proton). Cînd vorbim despre atomii care se ciocnesc în interiorul stelelor, realmente înțelegem că aceste minuscule nuclee se ciocnesc. Fuziunea nucleară constă dintr-o întrepătrundere a protonilor și neutronilor pentru a produce un nucleu mai complex și mai masiv, și deci un nou element. Din acest motiv formarea regatului este numită *nucleosinteză*.

Stabilitatea nucleelor în fierbintele tumult din interiorul stelelor este o problemă de cea mai mare importanță, deoarece un nucleu mai firav poate fi distrus în următoarea ciocnire, iar ciocnirile au loc la fiecare miliardime de secundă. Nucleele supraviețuiesc deoarece protonii și neutronii lor sînt ținuți laolaltă ca rezultat al unei forțe speciale (numită prozaic, dar sugestiv, *forță tare*) pe care aceste particule o exercită una asupra alteia. Împotriva acestei forțe tari acționează respingerea dintre sarcinile de același fel, caracteristică pentru protonii încărcați pozitiv, înghesuiți împreună în nucleu. Un nucleu poate supraviețui numai dacă există destui neutroni — particule neutre din punct de vedere electric — pentru a furniza o sursă suplimentară a forței tari, fără să contribuie însă la repulsie, care tinde să rupă nucleul în bucăți. Și, de regulă, el poate supraviețui în tumultul stelelor numai dacă există destui protoni și neutroni pentru a se încleșta

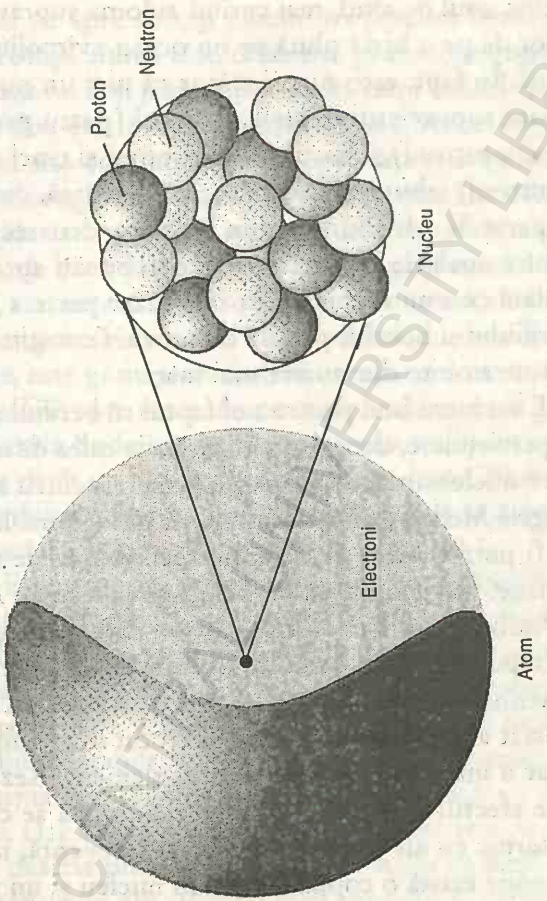


Fig. 8

Alcătuirea internă a atomilor. Un atom e constituit dintr-un nor de electroni înconjurînd un minuscul nucleu central a cărui dimensiune reprezintă a suta mia parte din diametrul atomului (și, în consecință, mult mai mic decît este reprezentat aici: de dimensiunea unei muște aflate în centrul unui stadion de fotbal).

strîns unul de altul, mai curînd aidoma supraviețuitorilor de pe o biată plută pe un ocean zvîrcolit de furtună. În fapt, este surprinzător că nici un nucleu nu poate supraviețui în stele. Beriliul (patru protoni și cinci neutroni) și borul (cinci protoni și cinci sau șase neutroni) izbutesc *doar* să supraviețuiască, dar ei sînt departe de a fi abundenți în Univers, deoarece multe dintre nucleele lor au fost rupte în bucăți aproape de îndată ce s-au format. Cea mai mare parte a litiului, beriliului și borului pe care o avem azi constituie fragmente ciobite din nuclee mai mari.

E un lucru bun pentru noi faptul că beriliul și borul supraviețuiesc, deoarece ei constituie calea de acces pe care nucleosinteza trebuie să fi mers pentru a forma Regele Mediocrității, carbonul, și astfel, pînă la urmă, să fi permis ca regatul să fie recunoscut de mințile umane. În fapt, există ceva deosebit legat de nucleul de carbon, ceva care îl face capabil să ia naștere destul de repede. Dacă această trăsătură specială — termenul ei tehnic este *rezonanță* — ar fi fost absentă, n-ar fi existat abundența actuală de carbon din Univers, ci doar o infimă cantitate a acestui element. Rezonanța este efectul care permite unui pendul să se cupleze puternic cu alt pendul de aceeași frecvență, iar prin extensie există o cuplare între un nucleu și un proton de energie adecvată.

Fără această rezonanță, n-ar fi existat viață. Datorită rezonanței s-a format o mulțime de carbon, ca abundență el fiind cel de-al treilea element din Univers. Mai mult de-atît, formarea carbonului deschide poarta pentru nucleosinteza altor elemente, astfel ivindu-se regiunile de pe litoralul nordic al dreptunghiului, ur-

mătorul șir spre sud, și pămînturi precum fierul din Istm. Totuși, atunci cînd călătorim prin aceste regiuni, observăm că, deși pămîntul se înalță către colinele joase ale fierului, există o alternanță regulată. Acum regatul etalează altă corelație între proprietate și amplasare, deoarece regiunile alterne sînt mult mai abundente decît cele care se întind între ele. În lungul litoralului nordic, de exemplu, carbonul, oxigenul și neonul sînt culmi, iar azotul și fluorul sînt adîncituri ale unui teren în general în coborîre. Modelul, cu modificări minore, este găsit pretutindeni în regat, pe măsură ce el se înclină spre mare. Acest model mai poate fi găsit și în Insula Sudică, asemănătoare mai mult unui fierăstrău decît unei suprafețe lin descendente. Probabil că o astfel de suprafață ar fi caracteristică și Atlantidei, dacă Atlantida ar fi accesibilă vreodată.

Explicația acestor încrețituri ale regatului trebuie să fie căutată în detaliile structurii nucleare — adică, în modalitatea în care protonii și neutronii se îngrămădesc laolaltă. Dacă există numere pare de protoni și numere pare de neutroni, atunci se pot forma modele deosebit de stabile; nucleele elementelor alternate au, prin urmare, o stabilitate crescută comparativ cu vecinii lor. Dar există două probleme de scenariu pe care le-am descris pînă acum. Una este aceea că după fier nucleele devin atît de mari încît protonii și neutronii nu sînt capabili să se cupleze unii cu alții atît de puternic, cum este cazul nucleelor mai mici, și există o scădere a stabilității. Dacă unei stele i-ar fi fost dat să ardă pînă la moartea ei, atunci cenușa sa n-ar fi conținut decît fier, iar regatul nu s-ar fi extins dincolo de primul rînd al Istmului. Fierul este capătul drumului pentru procesul nucleosintezei pe care l-am descris,

iar fără o istorie mai variată n-ar fi existat mai mult de jumătate din regat. A doua problemă este faptul că există puțin de cîștigat pentru viața din Univers dacă jumătate din regat este restrînsă la stele. Avem nevoie ca regatul să existe în afara stelelor, acolo unde întîmplările pot transforma materia anorganică în materie organică și de acolo în organisme.

Ambele probleme sînt rezolvate de o inevitabilă consecință a nucleosintezei la care ar fi util să privim acum ceva mai în detaliu. Prima etapă a vieții unei stele nou formate începe atunci cînd temperatura sa a crescut la aproape 10 milioane de grade (10^7 K). Aceasta este etapa de combustie a hidrogenului din ciclul de viață a unei stele, cînd nucleele de hidrogen fuzionează pentru a forma heliul. Chiar și în Soarele nostru, o stea de vîrstă medie, aproape 600 miliarde de kilograme de hidrogen sînt prelucrate pe secundă urmînd această cale. Cînd aproape 10% din cantitatea de hidrogen a unei stele a fost consumată, are loc o contracție ulterioară, iar regiunea centrală a stelei își ridică temperatura la peste 100 milioane de grade. În același timp, regiunile exterioare sînt împinse în afară prin activitatea din regiunea centrală, iar steaua umflată devine ceea ce se numește gigantă roșie. Acum poate începe combustia heliului în inima fierbinte și densă a stelei, iar nucleele de heliu fuzionează în beriliu, carbon și oxigen. Această fază continuă pînă cînd heliul din miezul stelei este epuizat, iar carbonul și oxigenul sînt prezente în proporții aproximativ egale (este remarcabil faptul că aceste două elemente sînt cele mai abundente din Univers după hidrogen și heliu). În această etapă, cărămizile de bază ale vieții sînt prezente.

La sfîrșitul fazei de combustie a heliului, regiunile interne ale miezului încep din nou să se contracte și temperatura crește încă mai mult. În stelele suficient de masive — acelea cu o masă cel puțin de patru ori mai mare decît cea a Soarelui — temperatura poate crește la un miliard de grade (10^9 K), iar combustiile carbonului și oxigenului pot începe. Aceste procese duc la formarea elementelor care se află la limita de a fi cu adevărat grele, incluzînd sodiul, magneziul, siliciul și sulful. Acum elementele viitorului peisaj terestru s-au format.

Atunci cînd miezul unei stele a fost golit de carbon și oxigen și e bogat în siliciu, poate începe faza combustiei siliciului, iar siliciul este preschimbat în sulf, argon și alte elemente grele. Dacă prin contracție se poate ridica temperatura interiorului la aproximativ 3 miliarde de grade, atunci începe așa-zisa *fază de echilibru* a ciclului de viață a stelei, iar elementele din apropierea fierului sînt formate. Fierul este cel mai stabil dintre toate; așa cum s-a menționat, dacă unei stele i-ar fi dat să ardă pînă la capăt, ea ar trebui să devină o minge de fier.

Între timp, în regiunile exterioare ale stelei, nucleele pot fi supuse unor curenți puternici de neutroni, care au fost generați prin procesele nucleare din miezul stelei. Acești neutroni sînt capturați de nucleele care se ciocnesc, și astfel, într-un nucleu dat, se pot acumula cîțiva neutroni suplimentari. Pe o anumită treaptă a acumulării de neutroni, nucleul devine atît de instabil încît ejectează un electron — un semn că, de fapt, un neutron s-a transformat într-un proton și că s-a format un nou element, mai greu. Astfel, regatul s-a întins treptat dincolo de fier, iar așa s-au format elementele pînă la uraniu (și poate dincolo de el).

Stelele nu ard domol de la începutul și pînă la sfîrșitul lor. Cum o stea consumă nuclee atomice, se ajunge la o treaptă în care centrul stelei este bătrîn și uzat, lipsit de combustibil. În această fază, regiunile exterioare ale stelei pot să se prăbușească, aidoma unui acoperiș care cade, și să se scufunde în abisul fierbinte de dedesubt. Materia căzută se sfărîmă de miezul dens al stelei și sare înapoi; în acest mod, o stea poate să se lipsească de regiunile externe, dispersîndu-le în spațiu. Steaua parentală poate continua să ardă, chiar să explodeze din nou, dar — lucrul cel mai important — ea a împrăștiat în spațiu o cenușă prețioasă, noile elemente formate. Spațiul nu mai conține doar norii delicați ai hidrogenului și heliului primordiali, deoarece acum există o contaminare importantă. Prima mare poluare a avut loc și acum există în afara stelelor potențialul unui peisaj, al vieții, al tehnologiei și al puterii.

Se pot forma alte stele, dar acum ele trebuie să se formeze din gaze deja contaminate cu pămîntul regatului. Acești nori de gaze, condensați și contaminați, se aprind, ard pe calea combustiei lor nucleare și făuresc o ceață și mai bogată a regatului. În timp, le vine rîndul să moară, în modul exploziv specific lor. Cînd începe cutremurul unei stele, împroșcătura și contraîmproșcătura răspîndesc în cosmos chiar mai mult din aceste elemente.

Noile nuclee eliberate, împrăștiate în cosmos, au o compoziție complexă care reflectă diferitele moduri în care au fost obținute. Stelele de mase diferite ard în moduri diferite: unele nu ajung vreodată la echilibru; altele nu ajung vreodată la etapa de combustie a heliului; unele ard repede, altele ard încet. Totuși, o trăsă-

tură comună este aceea că mecanismul nucleosintezei conduce la foarte puține cantități de litiu, beriliu și bor, deoarece aceste elemente ușoare sînt fie ocolite în schemele sintezei, fie consumate de îndată ce au fost create. Aceste regiuni ale regatului se află însă toate sub nivelul mării neființei din această etapă a evoluției materiei. Dar călătoria nucleelor prin spațiu este una periculoasă, acesta fiind ticsit de raze cosmice sau de curenți de particule în mișcare rapidă. Au loc ciocniri, iar fragmentele eliberează nuclee mai grele, un proces numit *spalație*; aceste fragmente includ nuclee de litiu, beriliu și bor. Aceste regiuni ale regatului se ivesc din mare în virtutea proceselor care au loc departe de stele, în liniștea înșelătoare a spațiului interstelar.

Acum, în principiu, regatul este format în întregime. El se înalță din marea neființei și va rămîne de fapt același pe veșnicie. Regatul s-a format în și printre stele și tot ce există în jurul nostru a fost făurit cîndva în stelele îndepărtate, demult stinse, și apoi împrăștiat de vînturile spațiului în convulsiile morții stelare.

După nașterea lor, elementele au avut o istorie mai liniștită, eliberate din freamătul mînios al interioarelor stelare. După călătoria lor fără de țintă prin spațiu, deviați de ciocniri, impulsionați de radiație și măturați de norii de gaz în mișcare, unii dintre acești atomi rătăcitori s-au strîns în unul sau în altul dintre nori. (Rețineți modul în care istoria regatului include atît de des norii care, treptat, dobîndesc o formă mai structurată.) Așa s-a întîmplat cu un nor anume — un nor format în principal din hidrogen și heliu, dar acum contaminat cu reprezentanții întregului regat. Asta se întîmpla în urmă cu patru sau cinci miliarde de ani, la zece miliarde de ani după nașterea Universului. Norul

întinat se condensează, așa cum fac norii murdari atunci cînd gravitatea poate înghesui particulele una într-alta în pofida efectului procesului care se opune contracției. În cele din urmă, în el izbucnește activitatea nucleară, eliberînd energie pe măsură ce hidrogenul fuzionează în heliu și luminînd cerul dimprejur. Dar nu toate stelele murdare se condensează. Rămîn resturi hotărîtoare, care înconjoară steaua incandescentă, ciocnindu-se și aderînd între ele ca granule, apoi ca pietre, apoi ca bolovani, ca planetezimale* și, în cele din urmă, ca mari sfere care se învîrt în jurul unui soare — Soarele nostru. Una dintre aceste sfere a devenit la timpul cuvenit recognoscibilă ca o planetă topită care avea să fie platforma tuturor activităților noastre: Pămîntul.

Rostul călătoriei în trecutul îndepărtat al istoriei regatului este de a afla că există două peisaje de abundență. Pînă acum imaginația noastră a văzut regatul din punctul de vedere cosmic, unde hidrogenul și heliul străjuiesc deasupra unei cîmpii ondulate. Acum avem să vedem regatul prin reprezentările abundențelor pămîntene. În această lumină, regatul arată cu totul diferit. Turnurile de strajă ale hidrogenului și heliului au dispărut, fiind înlocuite cu ceva mai mult decît fundațiile lor. Acum, Munții Fierului, Oxigenului, Siliciului și Magneziului sînt cei care domină terenul, însoțiți fiind de vîrfurile ceva mai mici ale sulfului, nichelului, calciului și aluminiului. Ce cataclism

* Mici corpuri solide rezultînd din condensarea localizată de materie, în sînul unei nebuloase care înconjoară o stea tînără și a cărei dezvoltare ulterioară conduce la formarea planetelor (*n. t.*).

poate oare să fi transformat regatul cînd vîrfurile semețe de odinioară sînt acum niște cioturi, iar cioturile de altădată sînt acum vîrfuri?

Deși formarea Pămîntului a fost mult mai blîndă decît formarea elementelor în stele, ea a fost totuși destul de energică, judecînd-o după canoanele de azi. În particular, tînărul Pămînt era topit de la un cap la altul, și așa sînt încă măruntaiele lui, iar căldura puternică a împrăștiat mulți compuși volatili. Hidrogenul în stare de element, prins în bule, avea să se întoarcă în spațiu, tot așa avea să se întîmple și cu heliul, care, fiind inert chimic, nu e capabil să se prindă de alt element. În afara hidrogenului care a reușit să se fixeze și să formeze compuși nevolatili, inclusiv apa cuprinsă în structura mineralelor, turnurile hidrogenului și heliului au fiert pînă n-a mai rămas nimic, iar noi am rămas cu rădăcinile lor. De fapt, pe Pămîntul primitiv nu mai exista deloc heliu, iar rămășițele pe care le măsurăm azi pe Pămînt reprezintă heliul care a fost creat prin dezintegrarea radioactivă a elementelor grele ca radiul și uraniul.

Elementele capabile să formeze compuși, care în pofida căldurii s-au ancorat, au rămas ca parte a tînărului Pămînt. Siliciul și vecinii lui de la nord și de la vest, oxigenul și aluminiul, au format silicații și aluminosilicații — rocile pe care stăm în prezent —, iar aceste elemente ușoare pluteau în elemente mai dense, ca fierul și nichelul, care s-au scufundat în adîncurile topite ale planetei, unde zac încă. Unele elemente au format alianțe nechibzuite cu sulful — nechibzuite deoarece mulți compuși cu sulf sînt volatili și au fost evacuați de pe Pămîntul în fierbere. Peisajul cosmic al

abundențelor terestre ale regatului s-a înălțat și a coborît, după volatilitatea compușilor regiunii formate, iar actualul peisaj al regatului, văzut în coordonate ale abundenței terestre, diferă enorm de peisajul văzut în lumina cosmosului ca întreg.

Am văzut cîte ceva despre trecutul îndepărtat și trecutul apropiat și cunoaștem în linii mari prezentul regatului. Ce putem spune, totuși, despre viitor? Este oare etern regatul ori va aluneca sub valuri? Există o șansă ca într-o bună zi — în cîțiva ani sau în cel mult cîteva sute de ani — Atlantida să fie găsită, ceea ce va constitui o mare realizare intelectuală dar, probabil, nu și una cu o mare semnificație practică. Mult mai interesantă este soarta regatului într-un viitor foarte îndepărtat, mult după ce toate stelele se vor fi stins și toată cerneala noastră se va fi întors în ceruri. Un scenariu verosimil (dar nu sigur) este acela că după atît de mult timp, poate după 10^{100} ani în viitor, toată materia se va fi dezintegrat în radiație. Chiar e posibil să ne închipuim procesul. Treptat vîrfurile și vîlcelele regatului se vor scufunda, iar Muntele Fierului se va înălța și mai mult, pe măsură ce elementele se vor prăbuși în această formă indolentă, de joasă energie. Asta se va întîmpla doar cu condiția ca materia să nu se dezintegreze întîi în radiație (ceea ce ar constitui o posibilitate), iar astfel regatul va deveni un turn singuratic, cu fierul ca unică protuberanță ivită din marea neființei. Dar chiar și fierul se va dezintegra și, la momentul cuvenit, acest turn singuratic va pluti sub valuri.

Este de imaginat că toate creațiile noastre pot fi încadrate doar în radiație, astfel încît poate exista o

eră în care va exista doar o amintire a existenței noastre anterioare — a informațiilor noastre și a cunoștințelor noastre despre regatul anterior. Totuși, este de conceput și că va veni o vreme, chiar mult mai îndepărtată, în care toată această radiație va fi întinsă la nesfîrșit, astfel încît Universul se va dilata, nelăsînd vreo urmă. Universul nu va fi nimic altceva decît un spațiu-timp mort și monoton și nu va mai exista nici chiar o existență intelectuală a regatului. Atunci regatul se va afla într-adevăr sub valuri. Ceea ce va fi existat cîndva, inclusiv amintirea și cunoștințele celor ce vor fi existat cîndva, se va nărui.

BCU IASI / CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

CAPITOLUL 7

Cartografii

Inițial, faptul că regatul era rațional nu a fost apreciat. Desigur, în secolul al XVIII-lea se știa că existau regiuni pentru hidrogen, oxigen, fier și cupru, iar la începutul secolului al XIX-lea erau cunoscute alte vreo cîteva duzini de regiuni. Dar se credea că era vorba de un arhipelag de insule separate, răspîndite la întîmplare. Într-adevăr, pe atunci nu prea exista vreun motiv să crezi că aceste insule separate erau înrudite.

Primul cartograf serios, chiar dacă empiric, al regatului a fost chimistul german numit Johann Döbereiner, născut în 1780, fiu al unui vizitiu, mai tîrziu ucenic de spițerie. Ca profesor asistent de chimie la Universitatea din Jena, el menționase că relațiile între unele dintre insulele regatului — relații făcute cunoscute de către exploratorii chimiști — sugerau că între regiuni exista o frăție a speciilor. În 1829, el a identificat în arhipelag triade, ceea ce sugera că cel puțin unele dintre aceste insule se înrudeau. Triadele lui Döbereiner erau ceva mai mult decît grupurile de elemente, deoarece chiar și pentru un ochi neatent ele manifestau o ușoară gradare a proprietăților fizice și chimice; totuși Döbereiner a menționat că triadele au o trăsătură

BCU "LUCIAN BLAGA" UNIVERSITY LIBRARY

remarcabilă: greutatea atomică a membrului din centru triadei era media aritmetică a greutăților atomice ale celor doi membri laterali. Începe să iasă la lumină o bază numerică de consangvinitate și amplasare. Într-o regiune a arhipelagului, de exemplu, el a identificat fierul, cobaltul și nichelul (elementele 26, 27 și 28, cu greutățile atomice 55,85; 58,93 și 58,69) ca reprezentînd o triadă, iar astfel a apărut o zonă a Istmului. Altundeva, el a legat clorul, bromul și iodul (elementele 17, 35 și 53, cu greutățile atomice 34,45; 79,90 și 126,9 — care apăruseră unul după altul pe linia nord-sud a halogenilor), ca și calciul, stronțiul și bariul (elementele 20, 38 și 56, cu greutățile atomice 40,08; 87,62 și 137,3 — de asemenea desfășurîndu-se de la nord la sud).

Identificarea triadelor nu-i deloc dificilă, din punctul nostru de vedere, deoarece similaritățile între regiunile învecinate sînt deosebit de mari. E mult mai greu să realizezi o viziune globală — peste, să spunem, duzini de elemente. În zilele lui Döbereiner o dificultate suplimentară o constituia faptul că doar cîteva regiuni ale regatului fuseseră aduse la cunoștință și că existau doar puține informații despre ele; în particular, greutățile lor atomice erau cunoscute doar foarte aproximativ. Döbereiner a încercat să identifice modelele pe o cuvertură din petice în care marile regiuni încă nu fuseseră cusute la locul lor, folosind astfel date care-l induceau în eroare. Faptul că a reușit să identifice relațiile dintre unele elemente este o dovadă a perspicacității sale de chimist. De ce erau legate triadele unele de altele pe calea aparentei coincidențe a greutății atomice era un lucru departe de a fi clar: în acest stadiu, triadele păreau să nu fie legate unele de altele.

Din favorabila noastră poziție retrospectivă putem vedea că triadele se află în zone distincte ale regatului. Döbereiner și contemporanii săi vedeau un teren fărîmițat și peticit și nu modelul global.

Existau unele primejdii în relațiile sugerate. Puțini chimiști de la sfîrșitul secolului al XVIII-lea și începutul secolului al XIX-lea credeau — de altfel nu aveau vreun motiv să creadă — că exista un model aritmetic al materiei. Materia era palpabilă; numerele erau abstracte. Abstracțiile puteau desigur să aibă modele, deoarece constituiau produsul intelectului și au fost inventate metodic. Materia, pe de altă parte, era materialul de pe Pămînt, nu o plăsmuire a intelectului. Materia era *reală*. Componentele ei pot fi scărmănate și identificate una după alta, dar nu exista vreun motiv să presupui că ele țin de un model numeric.

Chiar cînd modelele au fost identificate pentru prima dată, unii și-au exprimat disprețul față de ele. În preajma anului 1860, fusese explorat un lanț suficient de regiuni astfel încît era posibil să pui întrebarea dacă existau ritmuri întinse ale regatului. Primul model global a fost propus de geologul francez Béguyer de Chancourtois în 1862, care a aranjat elementele într-o spirală înscrisă într-un cilindru și a reușit astfel să potrivească 24 de elemente. El a menționat periodicitatea proprietăților lor, elementele similare repetîndu-se după fiecare al șaptelea element.

În 1864, un aranjament mai bun, bidimensional, în care originile hărții de azi a regatului sînt ușor de sesizat și care a reușit să amplaseze 35 de elemente, a fost propus de chimistul englez John Newlands. Newlands, care avea strămoși italieni, s-a născut la Londra, în 1837. El a luptat în armata lui Garibaldi la Neapole

B.C.U. „M. EMINESCU" IAȘI

și, la momentul potrivit, a coborît de la înălțimea unor acte romantice și eroice spre o carieră de chimist industrial într-o rafinărie de zahăr. Din nefericire, el a ales o îndoielnică analogie cu muzica pentru a-și expune observațiile. Newlands a observat că, întocmai ca într-o scară muzicală, armoniile dintre elemente erau văzute la fiecare opt trepte. Atunci el a propus ca elementele să fie așezate în octave, avînd dreptate într-o anumită măsură. De la altitudinea noastră retrospectivă, putem vedea că linia de coastă a dreptunghiurilor regatului are opt regiuni, de la litiu, de-a curmezișul, spre neon. Dacă pentru moment ne-am preface că linia joasă de coastă — cea a gazelor nobile — nu există, deoarece aceasta încă nu se afla deasupra mării ignoranței în timpurile lui Newlands, atunci al șaptelea element după litiu nu este neonul, ci sodiul, iar această regiune, un alt metal alcalin, are asemănări clare cu litiul. Altă octavă de elemente, la șapte trepte spre est de sodiu (din nou neluînd în seamă joasa coastă estică), ne aduce înapoi la potasiu, altă rudă a sodiului. Cînd Newlands a aranjat regiunile după masele atomilor lor — adică, după greutățile lor atomice — el a găsit că fiecare al optulea element cunoscut (gazele nobile constituiau o problemă a viitorului) crea o armonie.

De Chancourtois și Newlands întrezăriseră macheta regatului. Pînă atunci, în afara observațiilor lui Döbereiner cu privire la răzlețele relații de înrudire, semnalările regiunilor apăreau ca o împrăștiere de insule independente. E cu adevărat regretabil pentru Newlands faptul că a ales analogia cu muzica pentru a-și exprima observațiile, deoarece a fost ridiculizat cu dispreț. Cum puteau fundamentele naturii să fie legate de armoniile muzicale? Ce absurd! Oare Mozart a

descifrat combinațiile chimice atunci cînd compunea? Sau Haydn doar a amestecat poțiunile pentru a le picura în urechi și a mîngîia auzul? De ce n-a încercat Dl Newlands, în schimb, să înșiruie elementele în ordine alfabetică?

Ridicolul n-a înăbușit totuși încercările ulterioare de a organiza regatul. Trei oameni de știință au urmărit problema raționalizării a ceea ce părea irațional. Unul dintre ei a fost William Odling, succesorul lui Michael Faraday la Institutul Regal și, mai tîrziu, profesor de chimie la Oxford. În 1864, același an în care Newlands publica harta sa muzicală, Odling publica o hartă a regatului care de asemenea se bucură de o strînsă înrudire cu diagramele moderne. El a amplasat 57 de regiuni în locurile în care le-am recunoaște astăzi, cu una sau două regiuni luate împreună și nu identificate așa cum se cuvine. Odling a lăsat locuri goale, care sugerau cu tărie existența unor regiuni lipsă. Lucrarea lui Odling a fost ignorată în mare măsură și pe nedrept. E de prea puțin interes faptul că el a trăit pînă la o vîrstă înaintată (nouă zeci și unu de ani) și că e singurul printre cartografii timpurii care a supraviețuit pînă în secolul al XX-lea: a murit în 1921.

În același an 1864, chimistul german Julius Lothar Meyer a arătat că aptitudinea elementelor de a forma compuși unul cu altul varia în mod periodic cu greutatea atomică și a lansat o diagramă prescurtată a regatului. El a mai examinat și proprietățile fizice ale regiunilor și, în particular, volumul ocupat per atom („volum atomic"), pe care l-a putut calcula din densitatea și greutatea atomică. El a găsit că, reprezentînd grafic volumele atomice în raport cu greutatea atomică — la vremea respectivă parametrul de bază pentru deo-

sebirea elementelor și pentru așezarea lor în ordine —, apărea o ritmicitate (fig. 9). Octavele lui Newlands erau cu siguranță prezente aici, căci volumul atomic avea cîte un vîrf la elementul al optulea și al șaisprezecelea. Dar apoi ritmul se schimbă, vîrfurile fiind prezente la o distanță de optsprezece elemente. Urmărind acest vîrf și în măsura în care elementele erau cunoscute, exista o altă perioadă lungă înainte ca valoarea de vîrf a volumului atomic să se fi repetat. Meyer

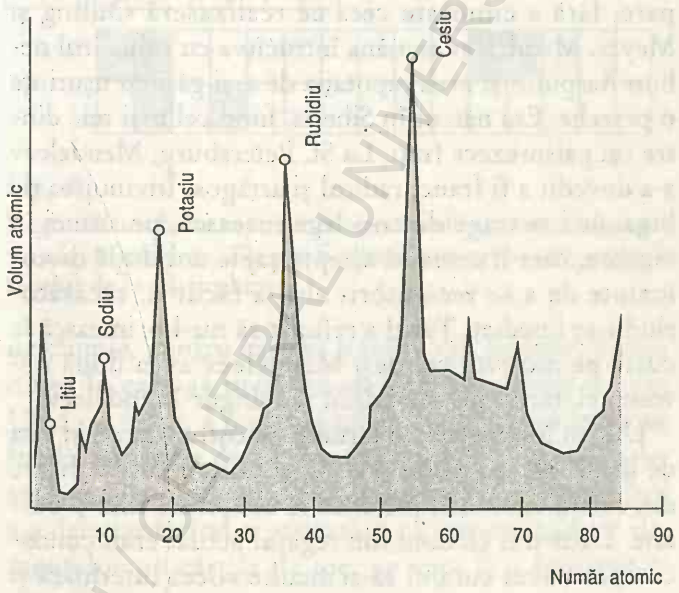


Fig. 9

O versiune modernă (și mai completă) a graficului lui Julius Lothar Meyer. El a reprezentat valorile volumului atomic al elementelor în funcție de greutatea atomică; aici reprezentarea s-a făcut în funcție de numărul atomic, o proprietate mai profundă. De observat creșterile și descreșterile periodice ale valorilor.

descoperise o periodicitate în proprietățile elementelor — un ritm complex care părea să fie o undă trecînd prin rîndurile lor. Regatul era mult mai complex decît presupusese John Newlands: el sesizase doar începuturile structurii complexe; Odling și Meyer pătrunseseră mai departe.

Departe, la St. Petersburg, bigamul și chimistul Dmitri Ivanovici Mendeleev (1834–1907) urmărea o problemă similară, dar o abordase dintr-un punct de vedere mai apropiat chimistului și lucrînd, după cît se pare, fără a cunoaște ceea ce realizaseră Odling și Meyer. Mendeleev semăna întrucîtva cu călugărul nebun Rasputin și avea reputația de a-și găsi cu ușurință o pereche. Era născut în Siberia, fiind cel mai mic dintre cei paisprezece frați. La St. Petersburg, Mendeleev s-a dovedit a fi franc, radical și arțăgos. Învinuirea de bigamie i se trage dintr-o lege rusească, pe atunci în vigoare, care îi cerea să aștepte șapte ani după divorț înainte de a se recăsători: el n-a făcut-o, recăsătorindu-se imediat. Țarul a refuzat să nu-l primească la curte pe motivul că, deși Mendeleev avea două neveste, el, țarul, nu avea decît un singur Mendeleev.

Unicul Mendeleev al țarului cunoștea șaizeci și una de insule ale regatului (fig.10) și căuta relațiile dintre ele, relații care ar fi putut să le ordoneze într-o unitate. Doar trei cincimi din regatul actual erau cunoscute; el a avut curajul să-și asculte vocea interioară și să tragă concluzia că unele regiuni încă nu fuseseră descoperite. E mai bine să lași locuri vacante pe care să le completezi mai tîrziu, poate pentru a-i ghida pe prospectorii în regat, decît să strici modelul impunîndu-i o falsă aparență de caracter complet. Se spune că, în timpul unei scurte moțăieli pe cînd scria un manual

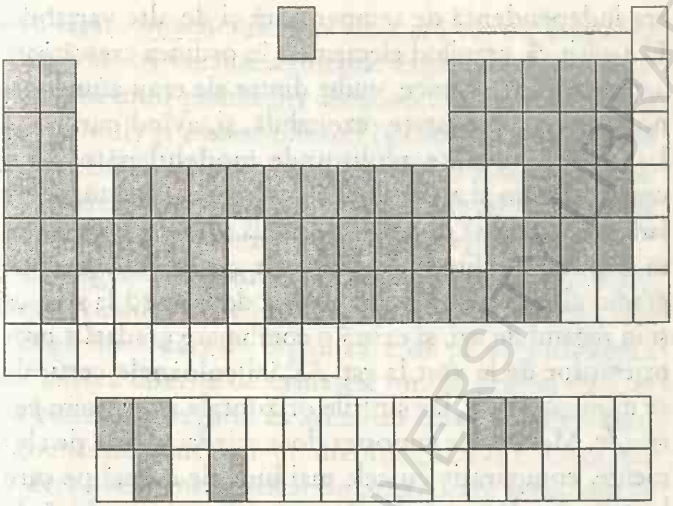


Fig. 10

Regiunile umbrite reprezintă elementele cunoscute pe vremea lui Mendeleev. Ele pot fi identificate prin comparație cu tabelul de la sfîrșitul cărții.

de chimie, pentru care se frămînta în legătură cu ordinea în care să prezinte elementele, a avut un vis. Cînd s-a trezit, a întocmit tabela, în principiu în forma finală. Era ziua de 17 februarie 1869*. Poate fi relevant pentru procesul descoperirii faptul că Mendeleev s-a delectat făcînd o pasiență și că scrisese numele elementelor pe cărțile de joc, pe care le-a împărțit în rînduri și coloane.

Mendeleev susținea că greutatea atomică era singura caracteristică fundamentală a unui element, deoarece

*Această dată este după vechiul calendar iulian. Ea corespunde cu 1 martie după calendarul nostru gregorian.

BCU IAȘI - CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

era independentă de temperatură și de alte variabile. El a găsit că, aranjînd elementele în ordinea crescătoare a greutății lor atomice, multe dintre ele erau atunci cunoscute cu o acuratețe rezonabilă, și, avînd curajul să lase locuri vacante acolo unde modelul părea să o ceară, precum și așezîndu-le într-o rețea dreptunghiulară care seamănă cu schema actuală a regatului, a reușit să sesizeze similitudinile. Vărul de gradul întîi și cel de gradul al doilea se află în coloane de la nord la sud, ca și în regatul de azi, și există o combinare gradată a proprietăților de la vest la est. Astăzi coloanele verticale se numesc *grupe*, iar șirurile orizontale se numesc *perioade*. Mendeleev cunoștea doar șaizeci și unu de elemente, comparativ cu cele mai bine de o sută pe care le știm azi, dar a tabelat doar vreo treizeci și două de elemente în prima lui încercare. Aceasta era destul pentru a prezenta înfățișarea teritoriului. El mai trebuia să dreagă ordinea pe ici, pe colo, dar și-a lăsat nasul de chimist să-l orienteze, acolo unde numerologia l-ar fi îndemnat s-o ia razna. Astfel, în conformitate cu ordinea bazată doar pe greutatea atomică, ar fi trebuit să pună cobaltul și nichelul să-și schimbe locurile între ele, iar același lucru ar fi trebuit să-l facă cu telurul și iodul. În aceste cazuri, Mendeleev n-a ținut cont de greutatea atomică și și-a folosit nasul pentru a aloca elementele grupurilor adecvate: iodul era din toate punctele de vedere chimice un membru al halogenilor, așa că l-a dirijat spre amplasarea lui actuală. Cobaltul, în modul cel mai clar — cel puțin pentru un nas de chimist — trebuia să se afle între fier și nichel, nu în ordinea sugerată de greutatea lui atomică.

Atunci cînd locurile vacante trebuiau să constituie regiuni care să aparțină unor grupuri adecvate, golurile

erau lăsate în schemă. Așa cum am văzut, existența acestor locuri vacante a orientat exploratorii spre descoperirea unor pămînturi necunoscute, iar *eka*-siliciul (germaniul) și *eka*-aluminiul (galiul) au fost curînd descoperite în lumea reală și folosite să astupe golurile. Și Mendeleev a comis unele erori, sugerînd existența unor pămînturi care n-au fost găsite vreodată.

Cartografia regatului întocmită de Mendeleev era întrucîtva diferită de hărțile pe care le folosim azi, dar primele încercări de organizare de pe vremea aceea sînt adesea diferite de urmașele lor. În primul rînd, el n-a considerat regatul ca avînd un Istm; regiunile erau îngrămădite toate într-un dreptunghi. De la harta lui, pe drept renumită, stilul de prezentare a evoluat și chiar și acum, la sfîrșitul secolului al XX-lea, ea n-a fost în întregime definitivată.

Hartă modernă a regatului s-a eliberat de tirania greutății atomice. Elementele nu mai sînt înșiruite după masa lor atomică, ci după o cantitate mult mai importantă, *numărul atomic*. Numărul atomic al unui element este numărul de protoni din nucleul unuia dintre atomii lui; numărul de neutroni, care desigur contribuie și ei la greutatea atomică, nu este luat în considerație. Astfel, hidrogenul are un singur proton, iar numărul lui atomic este 1. Heliul are doi protoni (și fie unul, fie doi neutroni), iar numărul lui atomic este 2. Uraniul are nouăzeci și doi de protoni și numărul său atomic este 92. Acest neechivoc număr de ordine crește lin atunci cînd străbați tabelul: el crește de la vest la est de-a lungul unui rînd, iar fiecare rînd amplasat mai spre sud are un număr atomic mai mare. Peisajul regatului, văzut în lumina numărului atomic, este o suprafață lin urcătoare, o suprafață fără cusur,

înclinată în sus de la nord-vest spre sud-est. O excursie prin regat în lungul unei perioade nu duce la pași greșiți, așa cum se întîmpla uneori cînd reprezentarea era făcută în funcție de masele atomice. Chiar și insula îndepărtată de țărm, aflată în marea sudică, manifestă o creștere uniformă a benzii sale nordice și apoi, din nou, la o altitudine și mai mare, de-a lungul benzii sudice. Dacă ar fi fost să remorcăm această insulă în insula principală, am fi știut exact unde să punem repere în spațiu.

De o importanță specială este faptul că, datorită numărului de ordine care poate fi anexat fiecărei regiuni a regatului, prin efectuarea de măsurători de sine stătătoare, știm că nici un element nu este scăpat. Dacă acest concept de număr atomic ar fi fost cunoscut înainte de sfîrșitul secolului al XIX-lea, atunci ar fi fost imediat clar că exista o bandă de pămînturi nedescoperite sau prerii întregi de lumi pierdute, la vest de Deșertul Vestic. Pur și simplu nu există numere atomice scăpate. O dată admițînd că numărul atomic *este* fundamental (și nimeni nu se îndoiește de aceasta), atunci catalogul elementelor este complet — cel puțin, între 1 și 109.

Asocierea unui număr atomic fiecărei regiuni a regatului mai înseamnă și că putem să ne plimbăm în lungul liniei de coastă sudice, marcînd fiecare pas al traseului prin determinarea numărului atomic al pămîntului asanat. Dacă, așa cum s-a întîmplat, numărul atomic face un salt de două unități, atunci știm că o regiune a fost scăpată și că putem să lăsăm în urmă un loc vacant. Pe această periculoasă și efemeră coastă sudică, numărul atomic n-a fost atribuit în ordinea descoperirii: el a fost alocat printr-o măsurătoare spe-

cială, iar regiunii i s-a fixat amplasarea în funcție de această măsurătoare. Dintr-un motiv similar, precum și în conformitate cu cunoștințele noastre privind structura nucleară, știm distanța aproximativă de îndepărtare în larg a cel puțin uneia dintre regiunile Insulei Stabilității: aceasta este situată la un număr atomic din apropierea lui 115. Putem face chiar speculații cu privire la dimensiunile Insulei Stabilității, deoarece teoriile structurii nucleare insinuează că există o altă regiune cu numere atomice apropiate de 180.

Un alt mare avantaj de a avea numere de ordine atribuite regiunilor regatului este acela că nu mai pot exista dispute cu privire la localizarea unei regiuni (deși vom vedea că rămîn alte prilejuri de dispute). Pe de altă parte, așa cum e cazul întotdeauna cu toate hărțiile moderne, ambiguitățiile de odinioară privind amplasările regiunilor capricioase — cobaltul și nichelul, telurul și iodul — toate s-au risipit: dăm de aceste elemente acolo unde se așteptau să le găsească exploratorii cu nasurile lor acordate în gama chimică. Trebuie să tragem concluzia că, în mare măsură, este o întîmplare fericită faptul că masele atomice cresc la pas, în majoritatea cazurilor, cu numărul atomic, deoarece această tendință i-a îndreptățit pe cartografi să sesizeze o proprietate atomică corelată, deși ea nu era o proprietate fundamentală, așa cum au dovedit-o investigațiile ulterioare.

În ce privește disputele, acestea sînt trei: două chimice, una birocratică. Prima dispută chimică (o dispută prietenească, nu un război mondial) este centrată pe Insula din Sud. Chimiștii cunosc exact ordinea elementelor din această regiune a regatului și mai știu unde se află insula atunci cînd ea este remorcată pe

țărm și crestată în insula principală. Ordinea regiunilor este determinată în întregime de numerele lor atomice. Totuși, decizia cu privire la întinderea porțiunii de regat care ar trebui să fie decupată din insula principală și remorcată departe de țărm depinde de opiniile conform cărora elementele sînt destul de asemănătoare pentru a forma o alianță strînsă unele cu altele. E loc destul de sfadă la fiecare capăt al insulei, îndeosebi cu privire la relațiile destul de complicate dintre regiunile capătului estic al insulei. Unele hărți remorchează în mare benzi întrucîtva diferite. Pe harta noastră a regatului am remorcat cea mai mare bandă a insulei principale, o suprapunere a tuturor Insulelor Sudice.

De ce, totuși, n-am remorca nici o regiune? Motivul este pur pragmatic: harta cu regatul complet este pur și simplu prea lungă și deșirată pentru a fi pusă în mod convenabil pe o pagină. (De fapt, Istmul Deșertului Vestic, de tranziție, este uneori decartat din acest motiv, atunci cînd se iau în discuție tendințele comportamentului la traversarea regatului. Nu vom folosi această formă hipermascată, dar se poate întîmpla să dai peste o astfel de hartă și să fii dezorientat de un regat aparent ruinat.)

A doua dispută chimică se află în Nordul Îndepărtat și privește localizarea Insulei de Nord a hidrogenului, aflată în larg. Celor cărora nu le plac insulele din larg li se pune problema unde să amplasese această insulă în insula principală. Acesta-i războiul dintre Marii-țeliști și Micii-țeliști. Marii-țeliști luptă să remorcheze insula hidrogenului la țărm pentru a forma un nou Cap Nord-vestic, imediat la nord de litiu și beriliu și pe partea opusă Capului Nord-estic al heliului. Există

motive chimice întemeiate să se procedeze astfel, precum și motive serioase (așa cum vom vedea) bazate pe structurile interne ale acestor atomi, care sînt toți strîns înrudiți structural. Dar, totodată, este și puțin cam nepotrivit, deoarece hidrogenul este un gaz și nu un metal, ca toate celelalte regiuni ale Deșertului Vestic, iar amplasarea lui aici ar fi atunci deplasată. Micii-țeliști ar remorca insula la țărm în direcție opusă și ar prinde-o de partea de nord a insulei principale, la halogeni și în vecinătatea heliului, dublînd întinderea Capului Nord-estic. Hidrogenul, susțin ei, e cu siguranță un gaz și se dovedește a fi asemănător halogenilor din punct de vedere chimic și structural. Totuși, argumentele în favoarea includerii lui aici sînt mai puțin convingătoare decît opțiunea Marilor-țeliști, iar pe bazele structurii interne (așa cum vom vedea) amplasarea lui aici este inadmisibilă. Unii chimiști fac compromisuri, admițînd ca o regiune marcată hidrogen să apară în ambele amplasări. Noi vom urma o altă conduită, care e bazată pe o observație făcută cu multă vreme în urmă — că elementele țărmului nordic, liziera de pornire a regatului, manifestă un număr de deosebiri frapante față de vecinii lor mai sudici. De aceea este rațional să presupui că însuși primul element dintre toate este, pînă la un anume grad de asemănare, un important străin în ale țării și că ar fi nepotrivit să-l ancorezi oriunde, deoarece aceasta ar sugera o falsă asemănare. Astfel, pe harta noastră a regatului (dar nu și în altele pe care le poți întîlni), regiunea hidrogenului este ferm ancorată în afara coastei nordice.

Disputa birocratică privește etichetarea grupurilor. Perioadele (rîndurile orizontale) sînt destul de clare

și aici nu-i dezlănțuită nici o bătălie: hidrogenul și heliul constituie Perioada 1, iar rîndurile orizontale succesive sînt etichetate ca Perioadele 2, 3 și așa mai departe. Insula Sudică, îndepărtată de țărm, este considerată ca fiind o parte a insulei principale: banda ei nordică este o parte a Perioadei a 6-a, iar banda ei sudică o parte a Perioadei a 7-a. Recuperarea solului se îndreaptă în prezent spre estul Perioadei a 7-a. Disputa are loc în ceea ce privește numerotarea grupelor (coloanele verticale). Următoarele remarci pot părea confuze și asta deoarece ele *sînt* confuze. Mendeleev și succesorii lui imediați au etichetat grupele Dreptunghiului Vestic cu I și II, iar pe cele ale Dreptunghiului Estic de la III la VIII. Grupa a VIII-a a Istmului are un caracter tranzițional deosebit de clar și, spre deosebire de oricare alte grupe, constă în trei elemente pe fiecare rînd. De exemplu, fierul, cobaltul și nichelul — triada clasică a lui Döbereiner — au fost atribuite toate grupei a VIII-a. Cuprul, care vine imediat după ele, a fost atașat Grupei I a Istmului, o notație care trebuia să îl despartă în mod stîngaci de îndepărtatele metale alcaline (există unele rațiuni chimice puțin convingătoare pentru această împărțire). În mod similar, grupa căreia îi aparține zincul a fost nevoită să împartă eticheta Grupei a II-a cu astfel de elemente ca magneziul și calciul din Dreptunghiul Vestic. Pentru a face deosebirea între grupele Dreptunghiului Vestic și grupele Istmului, au fost folosite literele A și B. Astfel, metalele alcaline au fost atribuite grupei I A, iar cuprul și acoliții săi Grupei I B; magneziul era în grupa II A, iar zincul (un văr de vreo zece ori mutat) era în grupa II B. Totuși, așa cum existau Marii-țeliști și Micii-țeliști, existau și Cavaleri și Capete-rotunde, iar în timp ce Cavalerii utilizau

această nomenclatură, Capetele-rotunde inversau pe A cu B. Astfel, în opinia Capetelor-rotunde, cuprul se afla în Grupa I A, iar zincul în Grupa II A. Triadele tranziționale ale lui Döbereiner, după părerea Capetelor-rotunde, se aflau în Grupa a VIII A, iar gazele nobile în Grupa VIII B; pe cînd, după părerea Cavalerilor, triada se afla în Grupa VIII B și gazele nobile în Grupa VIII A. Exista chiar o grupare care făcea disidență denumind coloana ocupată de gazele nobile, aflată la nivelul de nereactivitate al țărmului mării, Grupa 0 — pentru care nu există vreo cifră romană.

Va fi de înțeles faptul că existau numeroase prilejuri de confuzii și, deoarece familiarismul dă naștere la abuzuri, exista și o rezistență acerbă la orice aluzie cu privire la schimbare. Pentru a înlătura această confuzie internațională, supraveghetorii umani ai regatului au format un fel de Organizație a Națiunilor Unite pentru a se pune de acord asupra nomenclaturii pe care ar folosi-o*. Ei au venit cu o propunere rațională: să înlăture Vechea Ordine și s-o înlocuiască cu una Nouă. Astfel, în loc să folosească cifre romane de la I la VIII, cu sectarul (0) și cu punctele nevralgice ale alfabetului, A și B, ei folosesc acum doar cifre arabe de la 1 la 18 pentru coloanele succesive ale insulei principale, pornind din Vestul îndepărtat cu 1 și terminînd în Estul îndepărtat cu 18. Coloanele Insulei Sudice sînt anonime în această schemă, dar asta n-ar face să sîngereze vreo inimă; de vreme ce aceste regiuni sînt aproape de nedeosebit din punct de vedere chimic una de alta, ele

* IUPAC (International Union of Pure and Applied Chemistry) este comitetul care supraveghează și denumirea noilor elemente.

n-au prea multă nevoie să poarte etichete. Conform acestui ONU al regatului, toate regiunile Istmului ocupă grupe individuale, numerotate de la 3 la 12.

Harta noastră a regatului folosește această schemă actuală, dar Vechea Gardă încă — din motive întemeiate, care vor reieși atunci cînd vom studia instituțiile regatului — se cramponează de schema veche, crezînd că ea prinde mult mai direct ritmurile chimiei care este, la urma urmei, principala esență a existenței regatului. Totuși, Noua Gardă pare să cîștige teren și, deși bătălia este departe de a fi cîștigată și se desfășoară pe hîrtie, cu cîte vreo ambuscadă ici-colo și cu bubuitul tunurilor peste Deșertul Vestic, semnele actuale sînt că, în cele din urmă, Noua Gardă va învinge, însă va trebui să poarte respect Vechii Gărzi, împrumutînd uneori obiceiurile ei.

E momentul oportun să aducem discuția noastră la punctul final privind nomenclatura. Ne-am referit la Dreptunghiurile Estic și Vestic al regatului, la Istmul care face legătura între ele și la Insula Sudică din larg. Nu va fi nici o surpriză să aflăm că aceste zone ale regatului au nume cu un caracter mai oficial. Fiecare zonă asemănătoare cu un bloc este cunoscută, în mod prozaic, sub denumirea de *bloc*. Astfel, există patru blocuri principale ale regatului. Fiecare bloc are denumirea lui. Pînă să fi apucat să studiem instituțiile și puterea executivă a regatului, aceste denumiri ni se vor părea taine, deoarece ele își au rădăcinile într-o terminologie tehnică pe care o vom dezvălui pe scurt. Din motive care în această fază par cu totul obscure, Dreptunghiul Vestic este denumit *blocul s*, Dreptunghiul Estic este denumit *blocul p*, Istmul este denumit *blocul d*, iar Insula Sudică este denumită *blocul f*.

În linii mari, în aceasta constă cartografia regatului. Pe scurt, regiunile sînt aranjate în ordinea crescîndă a numărului atomic și se află în perioade orizontale (numerotate de la 1 la 7) și în grupe verticale (numerotate de la 1 la 18), astfel ca să formeze o serie de patru blocuri denumite *s*, *p*, *d* și *f*.

Totuși, înainte de a fora mai adînc în organizarea regatului, trebuie să subliniem că, în ce-o privește, cartografia nu e o știință statică. Au existat multe încercări de a cartografia regatul în modalități mai sofisticate, în particular (ca și în reprezentarea Pămîntului însuși) prin schițarea lui în trei dimensiuni. Este oare regatul, aidoma Pămîntului, un glob? Pot oare relațiile să fie înfățișate cu mai multă claritate și acurateță în mai multe dimensiuni decît două? Oare o reprezentare în mai multe dimensiuni ar impune o proiecție mai profitabilă, mai precisă decît aceea pe care am descris-o?

Merită să intrăm o clipă în bîrlogul cartografilor pentru a vedea ce propuneri au fost făcute. Cele mai multe dintre ele sînt uitate piese de muzeu care au avut o mică influență asupra navigației regatului. Deja am văzut că Chancourtois își imagina regatul ca pe o spirală înfășurată pe un cilindru: aceasta reprezenta *șurubul telluric*, denumit așa tainic deoarece regiunea telurului (numit, destul de adecvat, după cuvîntul latin pentru „pămînt") se află în punctul său central. Această spirală și succesorii ei mai complecși, care au inclus spiralele înscrise, aidoma unor covrigi, ca și dublele spirale, au ocolit cu dibăcie impresia că exista o discontinuitate în regat, întrucît vestul este alăturat estului, așa cum Alaska întîlnește Siberia.

Dar, deoarece acesta este un regat imaginar, nu-i nevoie să se ia la întrecere cu reprezentarea compactă

aidoma Pămîntului regatelor adevărate. Una dintre cele mai interesante versiuni ale Regatului Periodic este un model giruetă (fig. 11). În acest model, blocul *s* este axul (de remarcat că are două fețe), iar blocul *p* (care de asemenea are două fețe) răsare între Grupele 1 și 2 și formează o paletă; pe rînd, blocul *d* — cu două fețe — răsare din linia în care blocurile *s* și *p* se întîlnesc pentru a forma o altă paletă, iar blocul *f*, cu două fețe, răsare din blocul *d*, pentru a forma o paletă pe paleta unei palete. Astfel, toate zonele regatului sînt tratate în mod similar și dacă, să zicem, cîndva ar fi descoperit un bloc *g*, acesta ar sta confortabil pe încă o altă paletă. Există numeroase variațiuni pe această temă, dar toate suferă de aceeași problemă a globurilor noastre convenționale: au mai mult decît două dimensiuni.

Putem să confecționăm un portret și mai profund al regatului decît orice a fost descoperit pînă acum, iar într-o bună zi puterea de reprezentare conferită de computere va fi în stare să ne ofere etalări mai ample, mai sugestive ale relațiilor din regat decît reprezentările oricărei hărți plane. Va putea fi inventată o bază complet diferită de înfățișare, ori de niveluri de înfățișare, care vor îmbogăți înțelegerea noastră trecînd dincolo de imaginația obișnuită. Pentru ce a mai rămas din această relatare asupra regatului, ne vom întoarce totuși la Pămînt și vom folosi harta contemporană, de utilitate practică, a regatului care s-a conturat în imaginația noastră de-a lungul drumului și vom sări de la triadele lui Döbereiner, prin octavele lui Newlands, tabelul lui Odling, ritmurile lui Meyer, pînă la concepția globală a lui Mendeleev.

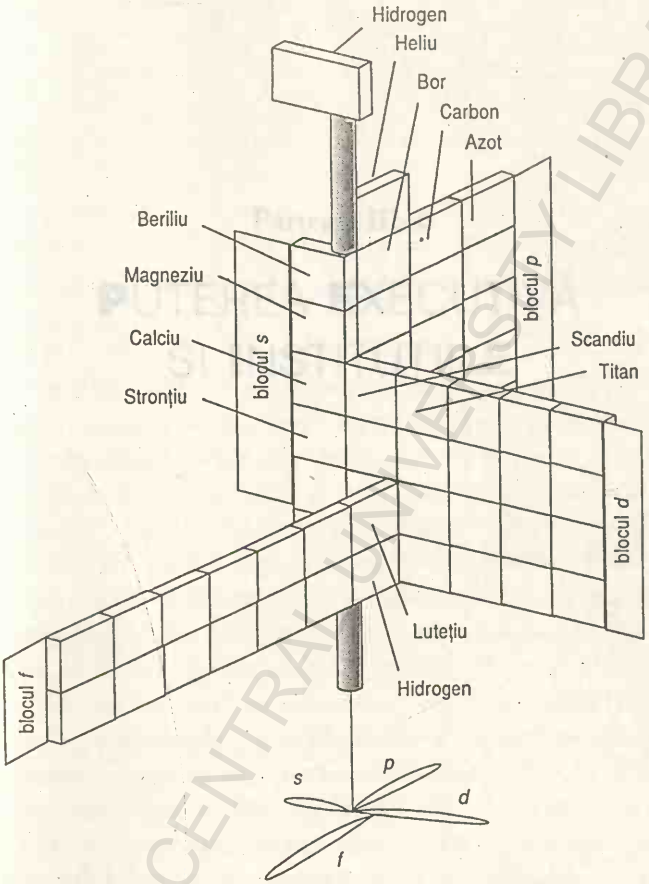
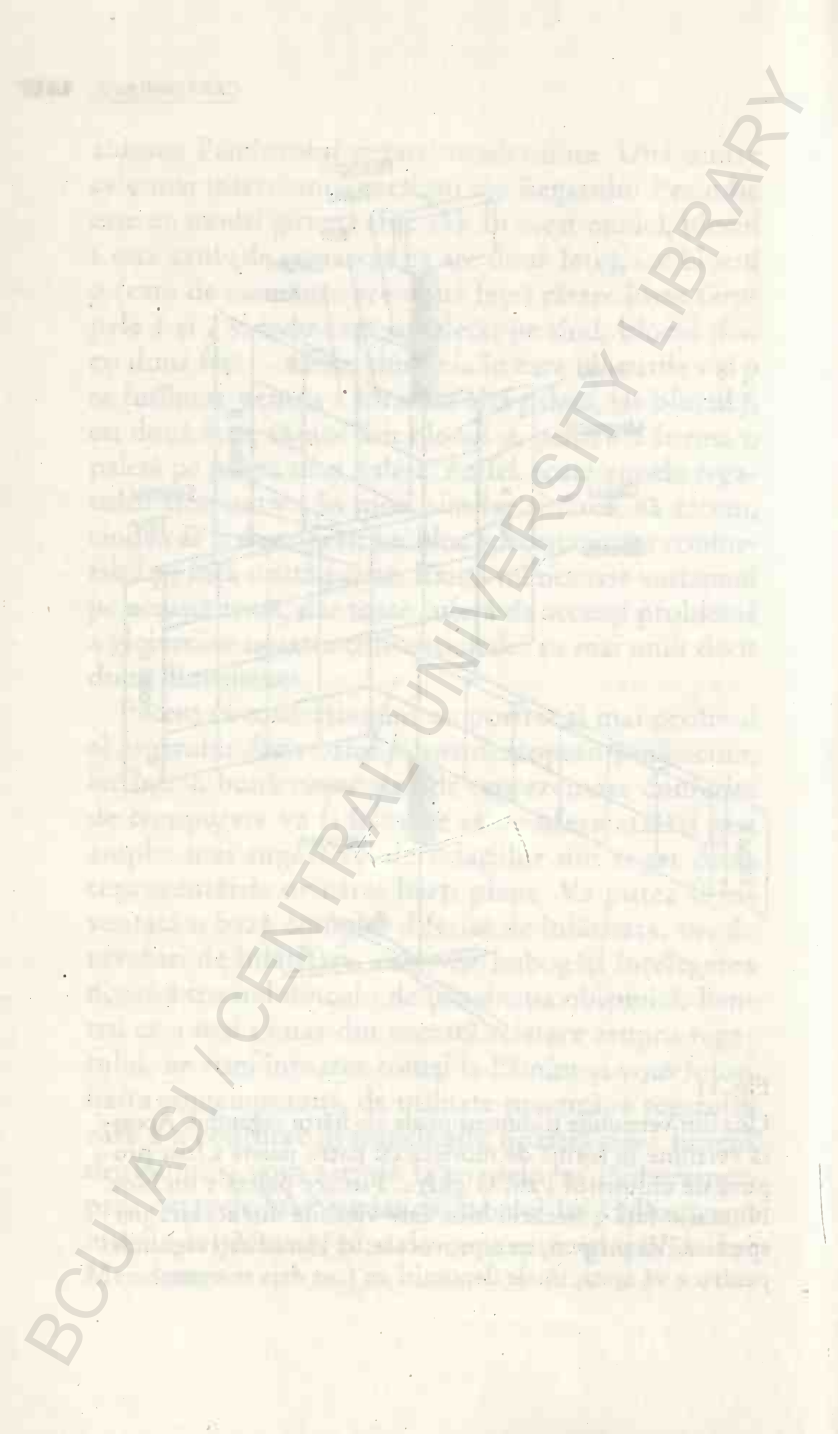


Fig. 11
Una din versiunile tridimensionale ale hărții regatului. Această versiune în formă de morișcă cu patru palete a fost propusă de chimistul Paul Giguère. Fiecare paletă e un bloc. Numai o față a fiecărui bloc este vizibilă din această perspectivă. Vă propun, ca o provocare, să identificați regiunile: pentru a vă ajuta, unele denumiri au fost deja marcate.

BCU CLUJ / CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY


BCU IASI / CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

Partea a III-a

PUTEREA EXECUTIVĂ ȘI INSTITUȚIILE

BCU IASI / CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

BCU IASI / CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

CAPITOLUL 8

Legislația internă

Legislația internă, regulile care guvernează structurile de atomi și care au drept consecință proprietățile lor caracteristice, necesită o oarecare suspendare a convingerilor deja formate. Ei poftim, asta înseamnă că punem problema cam prea imperativ, deoarece legile care guvernează regatul elementelor sînt, de departe, mai simple decît cele care guvernează propriile noastre vieți. Poate fi argumentat chiar că ele sînt, de departe, mult mai simple decît cele care guvernează comportarea bilelor de biliard, a planetelor sau a altor obiecte macroscopice. Mecanica cuantică, în așa măsură un simbol al ruperii cu trecutul încît este atît de caracteristică științei secolului al XX-lea, este esențială pentru a înțelege structura regatului, explicînd ritmurile lui și arătînd de ce regiunile se află într-o juxtapunere anume. De fapt, mecanica cuantică este punctul central al interpretării regatului. Este inevitabil să vorbim despre ea dacă trebuie să transformăm o diagramă empirică a relațiilor de familie într-un instrument mai util și mai inteligibil.

Mecanica cuantică este necesară deoarece este inevitabil să vorbim despre atomi, iar atomii, fiind

BCU "LUCIAN BLAGA" UNIVERSITY LIBRARY

microscopici, pot fi luați în discuție doar în acest limbaj al mecanicii cuantice. Potrivit acestei descrieri a naturii, energia poate fi transferată unui obiect doar în cantități discrete, numite *cuante*, nu într-o manieră lină și continuă, așa cum se presupunea în fizica clasică. Mai mult de-atît, deosebirile făcute în lumea macroscopică între particule și unde se șterg, iar cele două concepte se unesc într-unul singur. În lumea cuantică, entitățile sînt privite ca avînd atît proprietăți ale particulelor, cît și ale undelor și, în conformitate cu tipul de observație realizat, una sau alta dintre cele două descrieri poate fi mai adecvată. Regatul este guvernat de acest caracter discret și de dualismul undă-particulă, iar pentru a-i înțelege instituțiile și administrația trebuie să acceptăm aceste idei care par ciudate.

Am văzut de altfel că o pietricică a regatului, prin care noi înțelegem un atom dintr-un element, este o entitate diafană, mai mult spațiu decît substanță. Pentru a fi mai exacți, această entitate constă dintr-un nucleu central, masiv dar infinitezimal, înconjurat de un spațiu aproape gol. Acest spațiu, nu complet gol, este umplut cu cele mai importante (din punctul de vedere al chimiei) particule fundamentale din natură, electronii. Astfel că prima noastră descriere brută a unui atom dintr-un element este o pată mică a unui nucleu înconjurat de un nor electronic.

Existența atomilor a fost stabilită pentru prima oară experimental la începutul secolului al XIX-lea, cînd institutorul din Manchester, John Dalton, a analizat cu atenție masele substanțelor care s-au combinat una cu alta. Dalton n-a avut vreo dovadă directă a existenței atomilor, dar el a dedus-o din măsurătorile care arătau că o anume entitate constantă era implicată în

reacțiile chimice. Astăzi dispunem de dovezi mult mai directe deoarece atomii, datorită instrumentelor noastre — în principal microscoape de un rafinament deosebit —, pot fi prinși pe un ecran așa încît să-i vadă toată lumea.

Structura internă a atomilor a fost stabilită printr-o succesiune de experimente realizate la sfîrșitul secolului al XIX-lea și începutul secolului al XX-lea. Lucrînd la Universitatea din Cambridge, J. J. Thomson a stabilit că electronii sînt un constituent universal al materiei. Folosind un aparat care era un înaintaș al modernului tub de televiziune cu raze catodice, el a arătat că un anume fel de particulă fundamentală putea să fie scos din orice element. George Stoney a denumit această particulă fundamentală *electron* și, în cele din urmă, au fost stabilite masa sa și sarcina sa electrică negativă. Întregul regat, într-un fel, este așternut cu electroni și vom vedea că personalitățile elementelor sînt o consecință a modalităților în care sînt aranjați acești electroni; aici (la heliu) ei sînt grupați cîte doi, dincolo (la magneziu) o duzină de electroni sînt îngrămădiți laolaltă. Michael Faraday ar fi fost încîntat de această descoperire, deoarece el, supervrăjitorul electricității, era profund încredințat că electricitatea era legată într-un fel de compoziția materiei. În plus, electroliza arătase că materia putea fi fasonată în diferite feluri prin trecerea unui curent electric. Prin lucrările lui Thomson a devenit evident faptul că electronii erau universali, că — într-un fel — materia era construită din ei și că un curent electric nu era altceva decît trecerea unui torent de electroni.

Cînd au fost descoperiți prima oară electronii, existau două probleme serioase privind contribuția lor la

structura atomilor. O problemă era aceea că nu se știa cît de mulți electroni sînt cei prezenți într-un atom dat. Deoarece se știa că un electron ar fi de mii de ori mai ușor decît un atom, se credea că însuși hidrogenul, cel mai simplu element, poate conține sute de electroni; azi știm că acest element, paleolitic la nivel cosmic, conține doar un singur electron. A doua problemă o constituia natura sarcinii electrice *pozitive*, care trebuie să fie prezentă pentru ca atomul, ca întreg, să fie neutru din punct de vedere electric. Era oare vorba, așa cum credea Thomson, de un fundal aidoma unei piftii cu sarcină pozitivă, în care erau prinși sute (sau mii) de electroni, ori era ceva oarecum mai structurat, mai sofisticat?

Natura-i natură și ea s-a dovedit a fi mai sofisticată. În 1910, la Universitatea din Manchester, Ernest Rutherford și-a îndreptat formidabilele lui talente experimentale către descoperirea structurii pietrelor din regat. Lucrînd sub supravegherea sa, studenții Hans Geiger și Edward Marsden au proiectat particule alfa — mici particule încărcate pozitiv, formate în procesul de dezintegrare radioactivă a unor elemente grele — pe o foiță subțire de aur. Pe cînd cele mai multe particule au trecut direct prin foiță, unele dintre ele au fost împrăștiate de către aceasta, iar cîteva au fost reflectate înapoi spre sursă. Așteptîndu-se ca stropii de piftie să treacă prin stropii de piftie, aidoma albușurilor de ou azvîrlite pe un perete din albușuri de ou, mai tîrziu Rutherford medita că „era aproape cel mai incredibil eveniment care mi se întîmplase vreodată în viață" și că rezultatele experimentale erau atît de surprinzătoare ca și cum „un strat de cincisprezece inci, aprins de la o bucată de hîrtie, s-ar întoarce înapoi și

te-ar lovi". Acești stropi, dacă erau stropi, posedau o extraordinară proprietate de a reflecta. Studierea mai îndeaproape a rezultatelor l-a dus în situația să vadă că un atom nu era deloc un strop sferic dintr-o piftie moale, ci că sarcina sa pozitivă era concentrată într-o bulină centrală masivă, iar cea mai mare parte a restului atomului era un spațiu gol. Rutherford și-a anunțat rezultatele în 1911 și atunci a luat naștere noțiunea de *atom nuclear*. În acest model, atomul avea un singur nucleu, central, aidoma unei buline, masiv, care conține sarcina pozitivă a atomului și aproape întreaga sa masă, și o atmosferă înconjurătoare diafană, formată din electroni, cu destui electroni prezenți pentru a contrabalansa exact sarcina pozitivă a nucleului. Fiecare pietricică a regatului este o entitate nucleară, o bulină care comandă din punct de vedere electric spațiul înconjurător aproape gol.

Rutherford a fost capabil să estimeze sarcina pozitivă a nucleelor de aur și a obținut echivalentul cîtorva duzini de unități de sarcină. Prin urmare, a tras el concluzia, într-un atom nu existau mii de electroni, ci doar cel mult cîteva duzini. Acest număr a fost măsurat, într-o altă modalitate de observație, de către alt student al lui Rutherford, tînărul fizician Henry Moseley, cu puțin timp înainte de a fi omorît la tir de un glonte, lăsîndu-și astfel sîngele pe pămîntul din Gallipoli. Prin cercetarea proprietăților radiațiilor X emise de atomi, Moseley a fost în stare să numere sarcinile pozitive ale unui nucleu. În acest mod a reușit să stabilească faptul că acest principal organizator, numărul de ordine, *numărul atomic* al unui element, putea fi privit atunci ca numărul de unități de sarcină pozitivă din nucleul său. Hidrogenul, așa cum am

văzut, are numărul atomic 1: tot așa nucleul său are o singură unitate de sarcină pozitivă și este înconjurat de un singur electron care compensează sarcina nucleară. Un atom de carbon are numărul atomic 6, cu șase unități de sarcină pozitivă în nucleul său și șase electroni în jurul nucleului pentru a forma un atom neutru. Pietricelele de pe litoralul sudic al regatului au numere atomice apropiate de 100: astfel că fiecare dintre ele cuprinde cîte vreo sută de electroni.

Aproape în același timp a devenit posibil să se determine experimental cu acuratețe și precizie masele nucleelor. În sfîrșit, după mai bine de un secol, concepția lui John Dalton, potrivit căreia toți atomii unui element dat erau la fel, putea, în cele din urmă, fi testată. Dar s-a întîmplat, spre surpriza colectivă, ca testarea presupunerii lui Dalton să dea greș. Masele atomilor unui element au fost găsite ca avînd un evantai de valori. Deoarece toți acești atomi, fără să le pese de masa lor, aparțineau aceluiași element, ei au fost denumiți *izotopi*, de la expresia greacă „același loc". Unele elemente, în particular cele ușoare, constau din unul sau cel mult doi-trei izotopi, dar elementele mai grele din partea de sud a regatului erau compuse din mai mulți izotopi, ajungînd pînă la vreo duzină. Evident, și așa cum deja am bănuit, masa unui atom nu este o calitate fundamentală a unui element al regatului.

Conștientizarea faptului că un atom al unui element are totuși un număr atomic unic și caracteristic, iar — în cadrul unor limite înguste — o masă variabilă, a stimulat opinia că însuși nucleul atomic avea o alcătuire internă — că el era făcut din entități mai mici. A apărut un model în care fiecare nucleu atomic constă dintr-un grup de particule fundamentale încărcate pozitiv,

numite *protoni*, egale ca număr cu numărul atomic al elementului. Astfel, toți atomii hidrogenului au un nucleu care conține un proton, toți atomii carbonului au un nucleu care conține șase protoni, iar toți atomii uraniului au un nucleu care conține nouăzeci și doi de protoni. Aceste numere sînt invariabile: se schimbă numărul, se schimbă și elementul. Aceste numere sînt unice și distinctiv caracteristice pentru un element. Cu toate acestea, s-a descoperit și faptul că fiecare nucleu poate conține un număr variabil de *neutroni*, particule elementare identice cu protonii, dar cărora le lipsește sarcina electrică.

Numărul de neutroni dintr-un nucleu nu afectează identitatea elementelor dar afectează masa. Tipic, numărul de neutroni dintr-un nucleu este același cu (și în general, într-o măsură, mai mare decît acesta) numărul de protoni, dar numărul de neutroni poate varia cu cîteva unități — de aici provenind izotopii. Carbonul, de exemplu, are aproape întotdeauna șase neutroni adăugați celor șase protoni, dar sînt cunoscuți și izotopi ai carbonului cu șapte sau opt protoni. Gama numărului de neutroni este mai mare în sudul regatului, pe măsură ce crește proporția de neutroni necesari pentru a consolida aceste nuclee bogate în protoni. La uraniu, de exemplu, cei 92 de protoni sînt însoțiți de 150 neutroni, cea mai des întîlnită valoare fiind 146.

Acum putem vedea de ce greutatea atomică se corelează în linii mari cu periodicitatea regatului și, de asemenea, de ce uneori această corelație eșuează. Mai întîi, trebuie să menționăm că multe proprietăți ale unui element sînt determinate de numărul și aranjamentul electronilor care înconjoară nucleul, deoarece

aceștia sînt ușor de rearanjat, iar unii dintre ei pot fi scoși. Deoarece sarcina electrică a unui atom este zero, numărul electronilor săi trebuie să fie egal cu numărul de protoni din nucleu. În consecință, putem face speculația că există o legătură între proprietățile unui element și numărul său atomic. De aici rezultă că, pe măsură ce crește numărul de electroni, tot așa trebuie să crească și numărul total de protoni și neutroni, care este cel ce determină masa unui atom. Pornind de aici, există o corelație între masa atomică a unui element și proprietățile sale (numărul său de electroni).

Un detaliu semnificativ este totuși acela că rezultatul unei determinări a greutății atomice, cu excepția unor cazuri speciale, nu este masa unui singur atom. În schimb, măsurăm masa *medie* a unei probe, care în mod normal conține mai mulți izotopi diferiți. Nu există nici o garanție că această masă medie va crește exact în pas cu numărul atomic și astfel ne putem aștepta la mici defecte în peisajul masei. Corelația între proprietăți și greutățile atomice este în consecință imprecisă, exact cum Mendeleev fusese obligat să accepte. El presupunea că unele valori au fost determinate incorect. Dar noi, de la altitudinea noastră postnucleară, putem înțelege cauza devierilor și putem să le explicăm.

BCU IASI / CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

CAPITOLUL 9

Legislația externă

Acum trebuie să ne îndreptăm atenția spre regiunea mai mare din afara nucleului — regiunea locuită de electroni. Aici se află sediul secțiunii chimice și tot aici sînt de găsit motivele diferențelor și similitudinilor între elementele regatului. Irezistibila și trainica reprezentare vizuală pe care încă mulți o mai au în minte atunci cînd se gîndesc la atomi este cea a unor electroni aidoma unor mici planete care se învîrt în jurul unui nucleu central aidoma Soarelui — o reprezentare propusă de fizicianul japonez Hantaro Nagaoka în 1904. Acesta era un stadiu timpuriu din dezvoltarea teoriei atomice, iar o dată cu apariția mecanicii cuantice această reprezentare a fost înlocuită printr-un concept cu totul diferit. Deoarece electronul are proprietăți asemănătoare undelor, mai noua descriere a comportării materiei neagă posibilitatea ca un electron să aibă o traiectorie precisă. Modelul pe care îl vom descrie a fost formulat de fizicianul austriac Erwin Schrödinger în 1926 și, în afară de unele perfecționări, acesta este încă modelul acceptat.

În reprezentarea actuală a atomului de hidrogen — un atom cu un electron și cu un nucleu constînd

dintr-un proton — electronul este distribuit sub forma unui nor în jurul nucleului. Densitatea acestui nor poate fi interpretată ca o reprezentare a locului unde este probabil să fie găsit electronul. Norul este cel mai dens la nivelul nucleului și se diluează în afară, în regiunile mai îndepărtate de nucleu. Cel mai probabil loc în care să fie găsit electronul este nucleul însuși. Distribuția unui electron sub formă de nor este denumită *orbital atomic*. Denumirea de „orbital" este aleasă pentru a exprima un sens mai puțin precis decît acela de „orbită" a unei planete; totuși, imprecizia n-ar trebui să fie interpretată greșit. Densitatea norului în orice punct poate fi calculată exact, iar astfel forma orbitalului poate fi cunoscută exact. Imprecizia rezidă în interpretarea orbitalului în termeni de *amplasare* a electronului. Nu putem fi siguri că un electron va putea fi găsit într-un punct anume; tot ceea ce putem stabili (și aceasta o putem face cu precizie) este *probabilitatea* ca acesta să fie găsit acolo.

Unii pretind că această lipsă de precizie este o indicație că nu putem avea cunoștințe complete despre nici un obiect. O interpretare mult mai adecvată este aceea că reprezentarea clasică ne-a indus în eroare făcîndu-ne să gîndim că am putea avea o cunoaștere mult mai detaliată decît este posibil de fapt. E mult mai bine, din punctul meu de vedere, să gîndim că mecanica cuantică etalează ceea ce cu adevărat poate fi cunoscut în regat și că mecanica clasică, prin oferta publicitară exagerată, reprezintă eronat ceea ce putem cunoaște.

Hidrogenul este un model pentru toți atomii regatului, dar avem nevoie de ceva mai multe elemente de informație înainte de a continua. Mai întîi, trebuie să știm că orbitalul sferic al hidrogenului este denumit *orbital s*. Deși e convenabil să crezi despre *s* că vine

de la „sferic", aceasta-i doar o coincidență, iar originea lui se află, de fapt, în adîncul istoriei spectroscopiei, unde *s* vine de la „sharp" („precis", „fix", „exact"), o observație privind aspectul anumitor linii spectrale.

În continuare, trebuie să știm că orbitalii pot avea o mulțime de forme diferite. Există chiar mai multe feluri de orbitale sferice *s*. Astfel, dacă într-un atom de hidrogen este pompată suficientă energie, electronul poate fi înfoiat pînă la un al doilea tip de orbital s. Dacă primul orbital este denumit orbital 1*s*, atunci e normal ca pe cel de al doilea să-l denumim orbital 2*s*. Atunci cînd un electron are o distribuție 2*s*, spunem că el *ocupă* orbitalul 2*s*. Cu încă mai multă energie, electronul poate fi înfoiat astfel încît să ocupe un orbital 3*s* — în care există un nor central și două pături concentrice ale norului — și tot așa pentru un orbital de ordin superior n*s* (fig. 12).

Ajungem acum la o complicație, una dintre acelea pe care e esențial să le stăpînim dacă vrem să înțelegem structura regatului. Cînd unui electron i se dă destulă energie pentru a ocupa un orbital 2*s*, el poate, în loc de asta, să formeze un nor de o formă total diferită — un orbital *p* cu doi lobi. Există trei astfel de orbitali cu doi lobi, după cum lobii se află în lungul axelor imaginare *x*, *y* sau *z* — aceasta duce la orbitalii $2p_x$, $2p_y$, și $2p_z$, respectiv. O trăsătură interesantă și, se pare, obișnuită a unui orbital *p*, dar o trăsătură de care vom vedea mai departe că atîrnă structura regatului, este aceea că electronul nu va fi găsit niciodată în planul imaginar care trece prin nucleu și care împarte cei doi lobi ai orbitalului. Acest plan este denumit *plan nodal*. Un orbital *s* nu are un astfel de plan nodal, iar electronul descris de acest orbital poate fi găsit pe nucleu

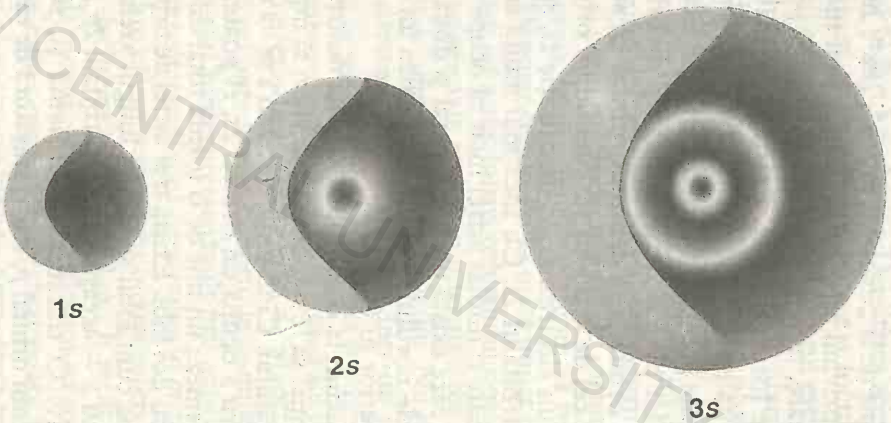


Fig. 12

O reprezentare a distribuțiilor electronice corespunzînd orbitalilor 1*s*, 2*s*, 3*s*. De observat că orbitalii au cu toții simetrie sferică și că, în fiecare din acești orbitali, unicul electron al hidrogenului se poate afla în nucleu, în centrul norului central. Densitatea umbrei indică pozițiile unde e probabil să găsim electronul într-un plan care secționează nucleul.

BCU IASI / CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

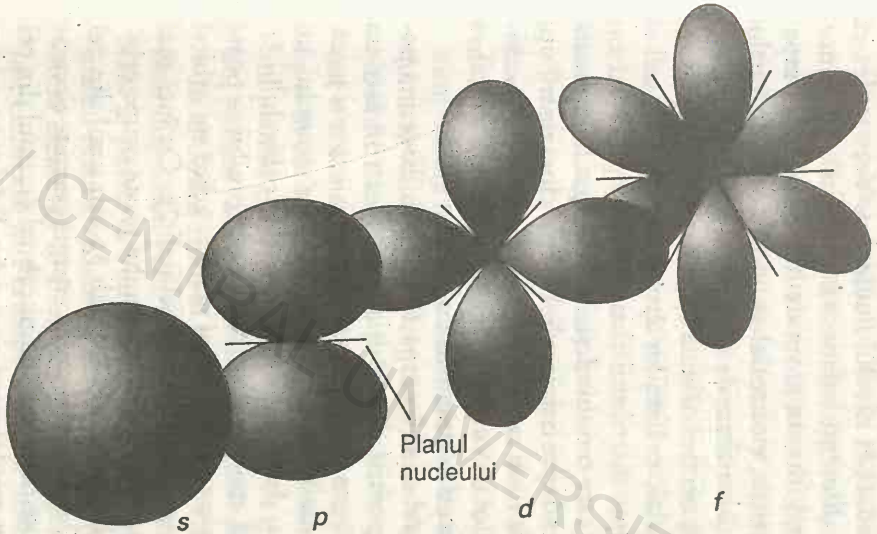


Fig. 13

Forma generală a orbitalilor *s*, *p*, *d*, *f*. În realitate există trei orbitali *p*, cinci orbitali *d* și șapte orbitali *f* corespunzînd unei anume energii, dar aici sînt reprezentați doar cîte unul. Cei doi lobi ai unui orbital *p* se află de o parte și de alta a unui plan imaginar secționînd nucleul; există două asemenea plane într-un orbital *d* și trei într-un orbital *f*.

BCU IASI / CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

(fig.13). Orice orbital *p* are un plan nodal de acest fel și, de aceea, un electron care ocupă un orbital *p* nu va fi găsit niciodată la nivelul nucleului. Vom vedea că din astfel de diferențe minore răsar regatele puternice.

Atunci cînd într-un atom de hidrogen s-a pompat suficientă energie, electronul său poate ocupa orbitalul 3*s*. Cu această cantitate de energie, el mai poate ocupa oricare dintre cei trei orbitali 3*p* care sînt, de fapt, versiuni înfoiate ale orbitalilor 2*p* tocmai descriși, ori el poate să adopte distribuții chiar mai complexe. Acum libertatea pe care o dobîndește din energia lui crescută îl face apt să adopte oricare dintre cele cinci distribuții asemănătoare unui nor cu patru lobi, denumite orbitali *d*. De ce există cinci astfel de orbitali e dificil să justifici grafic, dar cinci sînt cu toate.

Acum ar trebui să înceapă să fie clară diagrama posibilităților pentru distribuția unui electron într-un atom de hidrogen. În starea sa cu energia cea mai joasă, care este denumită *starea fundamentală* a atomului, un electron are o distribuție caracteristică orbitalului 1*s*. Cu mai multă energie, distribuția electronului se poate umfla fie într-un orbital *s* mai mare — adică un orbital 2*s* — fie într-unul din cei trei orbitali 2*p*. Cu încă mai multă energie, distribuția electronului poate ocupa orbitalul 3*s*, unul din cei trei orbitali 3*p* sau unul din cei cinci orbitali 3*d*. Încă mai multă energie permite electronului să adopte distribuția unui orbital 4*s*, unul din cei trei orbitali 4*p*, unul din cei cinci orbitali 4*d* sau una din cele șapte distribuții cu șase lobi denumite orbitali *f* *.

* De altfel am menționat că s este un termen spectroscopic arhaic însemnînd „exact". Termenii *p*, *d* și *f*, o dată în plus, indică unele caracteristici din spectroscopie, ca „principal", „difuz" și „fin".

Povestea merge mai departe, dar pentru cele ce urmează n-avem nevoie decît de acest stadiu.

Poate părea enigmatic de ce ne-am ocupat așa de mult de stările excitate ale hidrogenului, cînd aproape orice atom din Univers va putea fi găsit în starea sa fundamentală. Și ce are de-a face structura regatului — cu cele 109 regiuni diferite ale sale, din care doar una este hidrogenul — cu stările hidrogenului în care chiar acest atom e greu de găsit vreodată? Că timpul a fost bine folosit poate fi văzut dacă reflectăm o clipă la unele litere și la unele numere.

În primul rînd să luăm literele: orbitalii disponibili pentru un electron într-un atom de hidrogen sînt denumiți *s*, *p*, *d* și *f*, după numărul de lobi care intră în componența lor. Iar aceste litere sînt de asemenea și denumirile oficiale ale Dreptunghiului Vestic, Dreptunghiului Estic, Istmului și Insulei Sudice, respectiv. Nu este o coincidență faptul că aceste litere sînt utilizate astfel și în curînd vom vedea legătura dintre de neînchipuitul pămînt energetic (sau, cel puțin, cu greu de închipuitul pămînt) al hidrogenului și organizarea regatului.

În al doilea rînd, să luăm cifrele. Există doar un orbital disponibil pentru un electron în starea fundamentală și patru orbitali în prima stare de energie mai înaltă. Acum vedem că de aici reiese o relație: există două elemente în Perioada 1 (hidrogenul și heliul) și opt elemente în Perioada 2 (de la litiu la neon), ceea ce înseamnă dublul numărului de orbitali pe care tocmai i-am menționat. Într-adevăr, dacă luăm în considerare doar Dreptunghiul Estic și Dreptunghiul Vestic, există opt elemente pe fiecare rînd. Poate fi o coincidență faptul că numărul de coloane din blocul *s* este exact de două ori numărul de orbitali *s* pentru

un nivel energetic dat și că numărul de coloane ale blocului *p* este de două ori numărul de orbitali *p* pentru un anumit nivel de energie? Să luăm blocul *d*. Există în mod caracteristic zece elemente ale Istmului pentru fiecare perioadă a regatului, care este exact de două ori numărul de orbitali *d* pentru un nivel energetic dat. Pare întrucîtva amuzant faptul că trecînd la blocul *f*, Insula Sudică, găsim cîte cincisprezece elemente pe fiecare rînd și nu paisprezece așa cum ne-am fi putut aștepta avînd în vedere existența a șapte orbitali *f* pentru un nivel energetic dat. Există totuși, așa cum deja am subliniat, războaie de ocupație pentru jalonarea acestei zone și împărțirea terenului între Insula Sudică și insula principală este disputată. Numărul total de regiuni care străbat regatul de-a curmezișul în Perioada 6, care cuprinde teritoriile disputate, este treizeci și două. Acest număr este dublul sumei 1+3+5+7=16, adică dublul numărului total de orbitali, astfel încît chiar dacă distribuția este disputată, numărul general este strîns corelat cu numărul de orbitali disponibili.

În acest punct se pare că sîntem pe calea identificării puterii executive a regatului — cel puțin în măsura în care organizarea unităților sale administrative, aranjamentul blocurilor, este implicată. Dar ce pot să aibă de-a face cu regatul stările excitate ale hidrogenului? Aici punem să conlucreze firele argumentării, introducem o nouă lege extraordinară și descîlcim ghemul de conexiuni.

Urmînd o schemă numită *principiul de formare*, enunțat pentru prima dată în 1913 de către fizicianul danez Niels Bohr, chimiștii preconizează construirea regatului prin adăugarea electronilor unul cîte unul la

orbitalii caracteristici atomului de hidrogen. Heliul, de exemplu, cu cei doi electroni ai săi, este format prin punerea primului electron într-un orbital 1*s* aidoma celui al hidrogenului și apoi permițîndu-i acestuia să se însoțească cu un al doilea electron. Dacă notăm structura unui atom de hidrogen cu $1s^1$* , unde exponentul arată numărul de electroni care ocupă orbitalul, heliul ar trebui notat $1s^2$** . Totuși, orbitalii 1*s* nu sînt exact aceiași în ambii atomi, deoarece nucleul heliului, mai încărcat electric, trage mai aproape pe norul înconjurător de electroni, dar forma generală este aceeași, iar astfel notația este semnificativă.

Să considerăm acum litiul, un atom cu trei electroni. Acest element ne va face să înțelegem două lucruri importante privind administrarea regatului. În primul rînd, trebuie să știm că cel de-al treilea electron nu este capabil să se alăture primilor doi în orbitalul 1*s*. Există o lege fundamentală a regatului care cere, evocîndu-l pe Noe, ca electronii să intre pe orbitali doi cîte doi și *nu mai mulți* decît doi cîte doi. Adică, în conformitate cu *principiul de excluziune* enunțat de fizicianul Wolfgang Pauli (născut în Austria) în 1924, nu mai mult de doi electroni pot ocupa oricare orbital. Acesta este un principiu extraordinar de profund al mecanicii cuantice: i se poate lua urma pînă la fundamentele cuprinse în structura spațiului-timp și poate că el este cel mai profund dintre principiile care guvernează regatul imaginar și, pornind de-aici — deoarece regatul nu este în realitate deloc imaginar —, regatul adevărat, de asemenea. Nu există vreo descriere

---

* Citește „unu es unu" (*n. t.*).

** Similar, citește „unu es doi" (*n. t.*).

care să lămurească principiul; el este transmis din generație în generație ca o axiomă înscrisă pe tăblițe din piatră sau din oricare alt material în care mîna cioplește axiomele.

Din principiul de excluziune rezultă că structura litiului nu poate fi $1s^3$, deoarece acest aranjament al electronilor, cu trei pe un orbital, este interzis. Al treilea electron trebuie să intre pe un orbital de energie mai înaltă decît cel ocupat de ceilalți doi. Vom vedea imediat de ce este relevantă excursia noastră în stările de energie mai înaltă ale hidrogenului, deoarece principiul de excluziune forțează electronii adiționali să intre în acești orbitali de energii mai înalte. Problema cu care ne-am confruntat totuși este cea privind care dintre cei patru orbitali posibili ai celui de-al doilea nivel de energie (orbitalul $2s$ și cei trei orbitali $2p$ cu lobi dubli) este ocupat de cel de-al treilea electron? La hidrogen, toți cei patru orbitali au aceeași energie, astfel încît nu ar exista ceva care să-i diferențieze unul de altul. Totuși, în atomii cu mai mult de un electron, cei patru orbitali nu au aceeași energie.

Aici este momentul în care explicarea regatului depinde de existența planurilor nodale. Să ne reamintim că am spus că un electron de pe oricare dintre orbitalii s poate fi găsit la nivelul nucleului dar că un electron de pe oricare alt tip de orbital nu poate fi găsit în această situație. Și, cu acest lucru în minte, să încercăm să ne imaginăm distribuția unui electron într-un orbital $2s$ al litiului. Electronul este distribuit în principal ca o pătură noroasă în jurul celor doi electroni care ocupă orbitalul interior $1s$, sferic. Acești doi electroni interiori compensează de fapt două unități ale sarcinii pozitive a nucleului. Drept urmare, electronul exte-

rior, pe care-l vom numi *electron-2s*, simte doar atracția acestei sarcini parțial compensate sau *ecranate*. Oricum, orbitalul 2*s* este un nor cu un miez central (reamintiți-vă fig. 12), ceea ce înseamnă că un electron care ocupă acest orbital poate pătrunde, cu o probabilitate diferită de zero, chiar pînă la nucleu și simte astfel întreaga sa atracție. De asemenea, cînd este implicat un electron 2*s*, nucleul este doar parțial ecranat: penetrarea devine parțial ecranată.

În schimb, să ne imaginăm un electron 2*p* (un electron care ocupă un orbital 2*p*). Un astfel de electron este izgonit de nucleu datorită existenței planului nodal. Acest electron este în măsură mai mare ecranat față de atracția nucleului și astfel el nu este influențat atît de strîns. Cu alte cuvinte, din cauza efectului combinat al ecranării și penetrării, un orbital 2*s* are o energie mai mică (un electron de pe acest orbital este influențat mai strîns de către nucleu) decît un orbital 2*p*. Astfel, cel de-al treilea și ultimul electron al litiului intră în orbitalul 2*s*, iar structura sa globală este $1s^2 2s^1$.

Lecția privind Capul Nord-vestic al regatului este bine să fie repetată căci ea ne învață multe. După ce lecția aceasta e însușită, structura restului regatului devine imediat explicabilă (mă rog, aproape imediat) în termenii principiului de formare. În primul rînd, ocuparea orbitalilor este guvernată de principiul de excluziune al lui Pauli — acela conform căruia nu mai mult de doi electroni pot ocupa același orbital. În al doilea rînd, conspirația dintre ecranare și penetrare asigură ca orbitalul 2*s* să fie cumva de energie mai joasă decît orbitalii *p* de același ordin. Prin extensie, atunci cînd sînt posibile alte tipuri de orbitali, atît

orbitalii n*s*, cît și cei n*p* au energii mai mici decît orbitalii n*d*, iar orbitalii n*d*, la rîndul lor, au energii mai joase decît orbitalii n*f*. Un orbital *s* nu are un plan nodal, iar electronii pot fi găsiți pe nucleu. Un orbital *p* are un plan nodal, iar electronul este exclus de pe nucleu. Un orbital *d* are două plane nodale care se intersectează, iar excluderea electronului este și mai mare. Un orbital *f* are trei plane și, în mod corespunzător, excluderea este încă și mai mare.

Acum sîntem destul de echipați pentru a ne plimba prin regat în cunoștință de cauză. Ajunsesem deja la litiu, cu solitarul lui electron 2*s* în jurul norului interior al celor doi electroni 1*s*. Vom nota acest interior, aidoma miezului heliului ca [Heliu] — sau, mai pe scurt, [He] — astfel încît structura litiului poate fi notată atunci [He]$2s^1$, care semnifică faptul că litiul are un singur electron care înconjoară un miez interior aidoma gazului nobil heliu. În construcția beriliului (patru electroni), cel de-al patrulea electron se poate însoți cu electronul solitar de pe orbitalul 2*s*, iar pornind de-aici starea fundamentală a acestui atom — cea mai joasă stare de energie pe care o ocupă atomii de cele mai multe ori — este de așteptat să fie [He]$2s^2$. Orbitalul 2*s* este acum ocupat, iar noi ne aflăm pe liziera estică a Dreptunghiului Vestic. Următorul electron, pentru a realiza garnitura de cinci electroni a borului, va intra ca unul dintre cei trei electroni 2*p*, cum era de așteptat, pe flancurile cu energie ceva mai mare. Astfel, starea fundamentală a borului este [He] $2s^22p^1$.

Două lucruri ar mai trebui notate aici. Unul minor este faptul că nu are importanță care dintre cei trei orbitali 2*p* este ocupat: toți trei au aceeași energie și diferă doar în ce privește orientarea lobilor lor în spa-

țiu. Lucrul important este că, o dată cu începerea ocupării unui orbital *p*, ne găsim pe liziera vestică a Dreptunghiului Estic, începutul blocului *p*! Acum originea denumirilor acestor regiuni devine clară: ele constituie identitățile orbitalilor care se află în curs de a fi completați prin adăugarea de electroni succesivi.

În Dreptunghiul Estic există șase coloane. Există trei orbitali 2*p*, fiecare dintre ei putînd primi cîte doi electroni. Pe măsură ce călătorim spre est, de la bor la carbon, apoi la azot, oxigen și fluor, mai picurăm un electron în plus pe cei trei orbitali 2*p* și apoi ajungem la neon. Aici adăugăm cel de-al șaselea electron *p*, astfel încît structura stării fundamentale a acestui atom este [He]$2s^2 2p^6$. Acum cei trei orbitali 2*p* sînt completi și, într-adevăr, ne aflăm pe liziera estică a Dreptunghiului Estic. Pentru simplificarea ulterioară vom nota acest aranjament al electronilor asemănător neonului ca [Ne].

În acest punct al călătoriei noastre e momentul ca ghidul dumneavoastră să facă o pauză pentru a sublinia două aspecte relevante. Unul privește numerotarea grupelor — adică a coloanelor verticale ale diagramei. Vom reaminti din Capitolul 7 faptul că grupele Dreptunghiurilor Vestic și Estic sînt uneori numerotate de la I pînă la VIII. Acum putem vedea că aceste numere constituie exact numărul total de electroni de pe orbitalii externi. Astfel, litiul (Grupa I) are un electron în afara miezului interior, beriliul (Grupa a II-a) are doi , borul (Grupa a III-a) are în total trei (doi *s* și unul *p*), și așa mai departe spre Estul Îndepărtat, unde neonul (Grupa a VIII-a) are opt electroni. Acest indiciu al numărului total de electroni din regiunile exterioare ale atomului este cel mai convin-

gător motiv pentru a păstra vechea numerotare a grupelor. Al doilea aspect privește numărătoarea perioadelor (rîndurile orizontale) care, așa cum am văzut, încep cu 1 în nord și cresc pe măsură ce mergi spre sud. Numărul perioadei este numărul rangului de orbitali din regiunile exterioare ale atomului. Astfel în Perioada 1 (hidrogenul și heliul), sînt ocupați orbitalii 1*s*. În perioada 2, după cum am văzut, orbitalul 2*s* și orbitalii 2*p* sînt cei exteriori. În rîndurile succesive, putem de pe acum anticipa, sînt ocupați orbitalii 3*s*, 3*s* și așa mai departe. Numerele pentru perioade sînt, prin urmare, numere care identifică rangul structurii concentrice în straturi a atomului.

Să ne reluăm acum călătoria. Cel de-al unsprezecelea element este sodiul; el are unsprezece electroni, cu unul mai mult decît neonul. Orbitalii neonului 2*s* și 2*p* sînt totuși complet ocupați, astfel încît electronul adițional nu poate să li se atașeze. Într-adevăr, nu mai există orbitali de acest rang care să fi rămas liberi, iar electronul adițional este obligat, în virtutea principiului de excluziune, să ocupe un orbital de rang energetic superior. Astfel, el intră în următorul orbital disponibil, care (ca o consecință a penetrării și ecranării) este un orbital 3*s*. Structura stării fundamentale a sodiului este în consecință de așteptat să fie $[Ne]3s^1$.

Ghidul vostru insistă cu hotărîre să opriți autobuzul în acest punct al călătoriei. Există o trăsătură deosebită a regatului, care apare brusc în peisaj. Adăugarea unui electron ne-a dezvăluit o structură care este exact analogă unui atom al regiunii prin care am trecut anterior în cursul călătoriei, litiul. Litiul are o structură $[He]2s^1$, un singur element s în afara miezului asemănător unui gaz nobil; sodiul are structura

[Ne]$3s^1$, cu un singur electron *s* în afara miezului asemănător unui gaz nobil. Adică am întîlnit o periodicitate în structură: structurile electronice analoge ale atomilor apar periodic. Într-adevăr, acum putem înțelege faptul că sodiul se află în aceeasi grupă cu litiul *deoarece structurile lor electronice sînt analoge.*

Putem acum începe să sesizăm faptul că întreaga bază a regatului, reprezentarea periodicității proprietăților, este o manifestare a unui ritm mai profund, periodicitatea structurii electronice. Cum autobuzului îi este acum permis să se strecoare în lungul impunătoarei creste a înțelegerii, putem vedea adevărul acestei idei desfășurîndu-se la picioarele noastre ca o panoramă extraordinară. Ne deplasăm spre regiunea 12, magneziul. Starea sa fundamentală este [Ne]$3s^2$, în mod previzibil analogă beriliului ([He]$2s^2$), aflat imediat la nord de ea. Elementul 13 este aluminiul; electronul lui suplimentar trebuie în mod obligatoriu să fie primit în orbitalul 3*p*, deoarece orbitalul 3*s* este acum complet. Astfel, e de așteptat să găsim aluminiul pe culmea de vest a Dreptunghiului Estic, iar structura sa ([Ne]$3s^23p^1$) să se afle chiar la sud de bor ([He]$2s^22p^1$). Și chiar așa și este! Acest model se menține la traversarea Dreptunghiului Estic, iar la argon ([Ne]$3s^23p^6$) atît orbitalii *s*, cît și orbitalii *p* de rangul al treilea sînt complet ocupați și ne aflăm din nou pe cîmpia de coastă a gazelor nobile.

Există puține panorame ale regatului mai impunătoare decît cea pe care abia am văzut-o. Regatul a fost întemeiat ca o descriere a trăsăturilor empirice, recunoașterea relațiilor de familie, formarea unor alianțe. El a fost formulat, așa cum vom vedea mai departe, doar parțial ca o exprimare concisă a celei mai mari

părți a chimiei. Acum, cu surprinzătoarea puținătate a conceptelor — orbitali atomici, principiul de excluziune și consecințele penetrării și ecranării — am ajuns la explicarea rațională a regatului. Este o realizare deosebită ca, doar cu un săculeț de concepte, să explici observațiile făcute de Döbereiner, Newlands, Odling, Meyer și Mendeleev.

Ghidul vostru trebuie să mai sublinieze și alte trăsături, mai puțin importante, ale peisajului — legate mai curînd de vocabular decît de peisaj. Ceea ce am numit anterior *rang* al orbitalilor este denumit de fapt *strat*. Astfel, orbitalul 1*s* (singurul orbital de acest rang) formează primul strat* al atomului, orbitalii 2*s* și 2*p*, de-al doilea rang, se asociază pentru a forma cel de-al doilea** strat al atomului, iar orbitalii 3*s*, 3*p* și 3*d* se alătură formînd stratul al treilea***. Aceste straturi pot fi închipuite aidoma foilor unei cepe, cu cel de-al doilea strat înfășurat în jurul primului, cel de-al treilea în jurul celui de-al doilea, și așa mai departe. Grupurile de orbitali de același tip (cu același număr de lobi) din interiorul unui strat se spune că alcătuiesc un *substrat* al stratului. Astfel, orbitalul 2*s* constituie un substrat al stratului al doilea al unui atom, iar cei trei orbitali 2*p*, împreună, constituie un alt substrat al aceluiași strat. Cînd un substrat are garnitura de electroni completă (doi pentru un substrat *s*, șase pentru un substrat *p*, zece pentru un substrat *d* și paisprezece pentru un substrat *f*), spunem că substratul este *complet*. Substraturile *d* și *f* sînt tratate întrucîtva diferit de verii

* Stratul sau pătura K (*n. t.*).
** Stratul sau pătura M (*n. t.*).
*** Stratul sau pătura N (*n. t.*).

lor mai dominanți, substraturile *s* și *p*, deoarece, prin convenție, ele nu necesită să aibă configurația completă pentru ca stratul să fie considerat complet. În sfîrșit, stratul cel mai exterior al atomului, stratul care conține orbitalii ocupați de ultimii electroni care formează atomul, este numit *strat de valență*, iar toți ceilalți electroni din interior constituie *miezul*. Termenul *valență* va interveni din nou cu ocazia discutării legăturilor pe care le formează atomii, iar utilizarea lui pentru electronii cei mai îndepărtați de nucleu reflectă faptul că acești electroni sînt aceia care domină formarea legăturilor chimice.

Dispunem acum de un limbaj suficient pentru a fi mai bine orientați în călătoria din dreptunghi în dreptunghi, traversînd Istmul. Călătoria noastră își reia firul de la sfîrșitul Perioadei 3, de la gazul nobil argon, unde cel de-al treilea strat este complet. Acest aranjament electronic* se notează cu [Ar]. Un proton mai mult în nucleu și, prin urmare, un electron mai mult în afara acestuia, ne aduce tocmai în Vestul Îndepărtat, la potasiu, cu structura sa [Ar]$4s^1$, pe aceeași linie cu structurile elementelor mai nordice ale lizierei vestice. Apoi vine calciul, [Ar]$4s^2$, vecinul de la sud al beriliului și magneziului. Dar, în acest punct, există o schimbare în ritmul regatului.

În sfîrșit, intră în linia de ocupare orbitalii 3*d*, dar în loc ca autobuzul nostru să facă un salt spre Dreptunghiul Estic, ne trezim că dăm peste contraforturile vestice ale Istmului. Acum, cei cinci orbitali 3*d* fiind ocupați, trecem de la scandiu ([Ar]$4s^23d^1$) la titan ([Ar]$4s^23d^2$), și așa mai departe pînă la zinc ([Ar]$4s^23d^{10}$). În acest

* Sau configurație electronică (*n. t.*).

punct, pe creasta estică a Istmului, substratul 3*d* este complet ocupat, iar orice alt electron suplimentar este forțat să ocupe orbitalii 4*p*, care se găsesc în apropierea liniei de ocupare. Acum ne aflăm din nou în Dreptunghiul Estic (blocul *p*), iar regiunile cunoscute ale acestui dreptunghi se întind la picioarele noastre pînă cînd se termină cu kriptonul. Ar trebui să menționăm că această primă perioadă lungă, prima perioadă a Istmului, ia naștere în mod destul de firesc. Este un semn al forței științei faptul că un fenomen nou nu necesită un principiu diferit pentru a fi elucidat.

Acum este stabilit ritmul jumătății sudice a regatului, iar următorul rînd, Perioada 5, repetă structura rîndului pe care abia l-am descris, cu orbitalii 4*d* intrînd în linia de ocupare. În profunzimea regatului, principiul de excluziune și planurile nodale sînt convocate să armonizeze elementele care dansează mult deasupra lor, pe tărîmul simțurilor.

În Perioada 6, totuși, un alt ritm ajunge la urechile noastre. Aici, în sfîrșit, sînt disponibili orbitalii *f* cu șase lobi, iar Insula Sudică se înalță din mare. Paisprezece electroni completează banda nordică, oarecum ambiguă, a insulei. Istmul continuă acum cu substratul *f* complet, iar acesta, de asemenea, ajunge curînd la sfîrșit. Am atins periculoasele limite ale Dreptunghiului Estic, iar perioada este completă o dată cu radonul. Un alt rînd, o altă perioadă și o altă bandă a Insulei Sudice continuă înainte de Istm. Istmul își atinge totuși acum limitele, deoarece regiunile dinspre est zac încă în adîncul mărilor. Aici călătoria noastră s-a încheiat, regatul a căpătat o explicație rațională, iar cartografii empirici au fost confirmați.

CAPITOLUL **10**

Administrația regională

Cercetările noastre timpurii făcute asupra regatului au dezvăluit faptul că anumite proprietăți ale regiunilor dezvăluie prezența unor anume tendințe de la nord spre sud și de la est spre vest: peisajele văzute în lumina diferitelor proprietăți coboară de la Capul Nord-vestic spre îndepărtatul sud-est sau în alte direcții precise. Uneori vedem culmi iar alteori văi, dar nu există ceva lăsat la voia întîmplării. Chiar varietatea regiunilor pare să se adune în mod sistematic: metalele din vastul Deșert Vestic, nemetalele din Dreptunghiul Estic; înaltele culmi de reactivitate ale metalelor alcaline din Vestul Îndepărtat și cele ale halogenilor din Estul Îndepărtat. Regatul este un loc organizat, iar, prin descoperirea faptului că el este o reprezentare a periodicității structurilor electronice ale atomilor, ne aflăm în situația de a înțelege variația regională a administrației sale, adică putem vedea modul în care proprietățile elementelor variază de la un loc la altul.

Am văzut mai întîi că masele atomilor variază aproape sistematic în tot regatul (reamintiți-vă fig. 3). Această variație am explicat-o deja în termenii creșterii numerelor de protoni și neutroni în nucleele atomilor

BCU CLUJ / UNIVERSITY LIBRARY

pe măsură ce numărul atomic crește de la 1, pentru hidrogen, pînă la 109, pe litoralul estic. O abatere întîmplătoare de la peisajul perfect este pusă pe seama faptului că greutatea atomică este calculată ca masă medie a eșantionului, care constă mai curînd din amestecuri de izotopi decît dintr-un singur fel de atomi cu o masă unică.

Apoi am văzut că peisajul diametrului atomic coboară de la vest spre est de-a lungul unei perioade și se înalță de la nord la sud, cu o ezitare caracteristică în înălțarea pe partea continentală a litoralului sudic (reamintiți-vă fig. 4). Înălțarea generală a terenului de la nord spre sud poate fi văzută acum ca provenind din faptul că perioadele succesive ale regatului corespund formării unui nou strat electronic al atomului. Litiul, de exemplu, are un electron care formează un strat aproape găunos în jurul miezului asemănător cu cel al heliului; sodiul, următorul element de la sud, are un electron formînd un strat similar dar, de data aceasta, învelind un miez ca acela al neonului care, la rîndul lui, are un miez ca al heliului, și așa mai departe în josul grupei. Straturile electronice ale atomilor din perioade succesive sînt aidoma foilor succesive ale unei cepe, iar atomii cresc succesiv în dimensiuni.

Contractarea de la vest spre est de-a lungul unei perioade nu este atît de simplu de explicat, pentru că, la prima vedere, pare ciudat ca atomii să se contracte pe măsură ce numărul de electroni crește. Nu trebuie totuși să uităm rolul nucleului. Pe măsură ce călătorim spre est printr-o perioadă, sarcina nucleului crește; încărcătura nucleară crescîndă atrage electronii înconjurători mult mai puternic cu fiecare element succesiv, atrăgîndu-i mai spre interior. Deși acestei con-

tracții i se opune forța de respingere dintre electroni, care crește pe măsură ce numărul lor crește, contracția în general (așa cum se întîmplă aproape peste tot) învinge tendința de expansiune, și de aceea peisajul diametrelor coboară în pantă pe măsură ce mergi spre est. Ici și colo, abătîndu-se de la tendința generală, peisajul se înalță înainte de a coborî din nou; aceasta se întîmplă spre capătul estic al Istmului și încă în unul sau alte două locuri. În aceste locuri, competiția este cîștigată de expansiunea datorată creșterii forței de respingere electron-electron.

Există aici încă o importantă problemă filozofică care nu trebuie să treacă neremarcată. Înțelegem faptul că peisajul în pantă descrescătoare al diametrului atomic, cu ocazionalele lui vagi înălțări, este un rezultat al *competiției* dintre forțele care se compensează cu finețe. Efectul atracției universale abia domină peisajul: dacă aceasta ar fi fost ceva mai slabă, regatul s-ar fi înclinat înspre cealaltă parte. Această determinare a regatului de către forțele aproape egale care se compensează este caracteristică pentru peisajul regatului privit din toate perspectivele și constituie o caracteristică a chimiei ca întreg. De aceea chimia este un subiect atît de subtil, unul în care observațiile sînt tot atît de dificil de prezis, deoarece este dificil să evaluezi dacă va domina un efect sau celălalt. Regatul este ca o democrație parlamentară cu o reprezentare a partidelor aproape egală: uneori va învinge stînga, alteori dreapta.

Mai trebuie încă să explicăm nivelarea neobișnuită a cîmpiei din peisajul diametrelor în sud. Trebuie să rețineți că aceasta se întîmplă în regiunile care ar urma elementelor din Insula Sudică, dacă ele ar fi remorcate

pînă la docurile lor de pe continent pentru a forma un istm secundar, mai îngust. Cheia o constituie prezența acestor elemente ale blocului *f*, așadar a electronilor *f* care sînt responsabili de nivelarea cîmpiei. Explicația, cel puțin în parte, este aceea că sarcina nucleară crește constant pe măsură ce mergem de la vest spre est prin acest istm secundar și, în consecință, ne așteptăm ca atomii să se contracte. În plus, electronii *f* sînt distribuiți ca nori de forma unui fus foarte alungit și ei nu pot ecrana electronii de sarcina crescîndă a nucleului. Astfel, ne putem aștepta ca efectul atracției nucleare să fie dominant și să existe în consecință o contracție substanțială a atomilor de-a lungul blocului *f*. Atunci cînd continuă adevăratul Istm (blocul *d*), atomii sînt mult mai mici decît ar fi de așteptat dacă această contracție n-ar avea loc. Într-adevăr, s-a descoperit că diametrele lor sînt similare celor ale elementelor din rîndul de deasupra, în pofida considerabilei creșteri a numărului atomic, a numărului de electroni și a masei. Cînd elementele Insulei Sudice sînt din nou remorcate înapoi în mare, rămînem cu o nivelare a cîmpiei.

Acum înțelegem că peisajul densităților Deșertului Vestic al metalelor — care, așa cum am văzut în fig. 5, atinge altitudini de Himalaia către coasta sudică, în mod deosebit pentru iridiu și osmiu, și rămîneri în urmă la plumb — este o consecință a imixtiunii orbitalilor *f* în schema de completare pentru construirea atomilor acestor elemente. Astfel, dintr-un atare concept, aproape abstract, ca acela al orbitalului *f*, pot apărea consecințe pentru lumea reală. Data viitoare cînd încerci să ridici plumb, gîndește-te la densitatea lui ca avîndu-și rădăcinile în aceste semiabstracții și în puterea lor în regat.

Similaritatea diametrelor atomilor Istmului constituie o altă consecință care răzbește din regiunile subterane ale explicației în lumea reală a tehnologiei și comerțului. În mare măsură din cauza similarității diametrului pe care o prezintă elementele Istmului, putem să le amestecăm pentru a realiza materiale pe care le numim aliaje. Întocmai cum băcanul, dacă i s-ar cere să-și dovedească măiestria, ar putea cu destulă ușurință să pună în aceeași grămadă mere și portocale, dar ar găsi că-i dificil să faci grămezi de portocale și pepeni, tot astfel un metalurg poate amesteca atomii din regiunile Istmului, punînd crom, mangan, nichel sau cobalt în fier pentru a realiza metalele constructoare ale epocii actuale. Ne-am da seama că electronii *d*, abstracțiile din profunzime, dedesubtul suprafeței, sînt cei care permit tehnologiei noastre să înflorească.

Ne-am îndreptat în continuare atenția spre ușurința cu care electronii pot fi smulși din atomi pentru a forma particule încărcate pozitiv, cunoscute drept cationi. Peisajul energiei de ionizare are un ritm mai subtil decît peisajul diametrului, dar, în linii mari, el este de altitudine joasă în sud-vest și crește la Capul Nord-estic al heliului (reamintiți-vă fig. 6). Chiar în linii și mai mari vorbind, el este jos în Deșertul Vestic și de altitudine mai ridicată în regiunile nemetalice ale Dreptunghiului Estic. În general, acest peisaj al energiilor de ionizare are panta în direcție opusă pantei peisajului legat de diametru. Acesta este exact lucrul la care ar fi trebuit să ne așteptăm dacă atracția nucleară ar fi dominantă. Pe măsură ce călătorim din sud-vest spre nord-est, atomii devin mai mici, iar electronul cel mai exterior este mai apropiat de nucleul său. Auto-

ritatea nucleului asupra electronului este mai fermă și astfel energia de ionizare crește. De-a lungul direcției Deșertului Vestic energiile de ionizare sînt destul de mici pentru ca acești atomi să-și piardă cu ușurință electronii. Ca urmare, aceste elemente formează solide metalice, în care o rețea de cationi este stivuită aidoma portocalelor într-un raft, iar aceștia sînt lipiți unul de altul de o mare de electroni care îi îmbibă. O astfel de pierdere facilă de electroni nu poate avea loc în nord-estul Dreptunghiului Estic, unde atomii sînt mici iar electronii sînt puternic atrași, astfel încît aceste regiuni nu sînt metale.

Ne putem îmbogăți în cîteva moduri viziunea asupra peisajului energiilor de ionizare prin analiza trăsăturilor structurii electronice pe care le avem la dispoziție. Mai întîi, știm deja că energiile de ionizare secundară (energia necesară pentru a îndepărta un al doilea electron) sînt mai mari decît energiile de primă ionizare, deoarece electronul trebuie să fie scos dintr-un ion deja încărcat pozitiv. Oricum, există pentru această creștere un model care reflectă structurile atomilor. Să luăm, de exemplu, sodiul: acesta are un singur electron în exteriorul unui miez compact asemenea celui de gaz nobil (structura sa este $[Ne]3s^1$). Primul electron este destul de ușor de îndepărtat (îndepărtarea lui cere o investiție de 5,1eV), dar îndepărtarea unui al doilea electron, care ar trebui să se facă din interiorul miezului aflat aproape de nucleu, cere o energie enormă — de fapt de aproape zece ori mai mare decît energia de primă ionizare (47, 3eV). Extragerea electronului din acest miez poate fi realizată (în Soare, de exemplu, aproape toți electronii sînt scoși

în afara atomilor), dar, în general, energiile caracteristice proceselor chimice sînt prea mici pentru a putea îndepărta mai mult decît primul electron.

Acum păşim spre est, către vecinul sodiului, magneziul, cu doi electroni în afara miezului ([Ne]$3s^2$). Un electron se desprinde rezonabil de uşor (prima energie de ionizare este de 7,6 eV). Pierderea acestui electron mai lasă totuşi un electron pe un orbital din afara miezului, dar el se află la distanţă de nucleu şi suferă doar o atracţie slabă. Astfel, chiar dacă este necesară o creştere substanţială de energie pentru a îndepărta acest al doilea electron, investiţia cerută este de doar 15,0 eV, care este pe departe mai mică decît cea necesară pentru a sparge miezul sodiului. Această energie suplimentară poate fi dobîndită prin procese chimice normale. Îndepărtarea celui de-al treilea electron din magneziu necesită însă extragerea unui electron din miez, iar energia pentru acest pas este mare, de 80,1 eV — ceea ce ţine de domeniul fizicii, nu ca investiţiile energetice relativ mici, caracteristice chimiei. Astfel, atunci cînd magneziul formează cationi, ne putem aştepta să formeze cationi cu sarcină dublă, în timp ce sodiul va forma doar cationi cu sarcină electrică simplă.

Argumente similare s-ar putea aplica tuturor elementelor din Dreptunghiul Vestic şi astfel descoperim un alt ritm al regatului: elementele din Grupa 1 trebuie să formeze doar cationi simplu încărcaţi electric, iar elementele din Grupa 2 cationi cu sarcină dublă. Aceasta e lucrul pe care îl observă chimiştii, iar aproape toate proprietăţile chimice ale acestui bloc de elemente pot fi explicate în acest limbaj.

Nu există multe metale în Dreptunghiul Estic (blocul *p*) al regatului, dar ar trebui să ne aşteptăm să se aplice raţionamente analoge. Din punct de vedere

comercial, una dintre cele mai importante regiuni ale acestui dreptunghi este aluminiul. Această regiune se află în Grupa 13 (fosta Grupă a III-a) și are configurația [Ne]$3s^2 3p^1$, cu trei electroni în afara miezului asemănător neonului. Acum putem prezice că acest element își pierde probabil cei trei electroni destul de ușor (referindu-ne la investițiile chimice de energie), dar nu mai mult de-atît. Această presupunere este confirmată de primele trei energii de ionizare care sînt: 6,0 eV, 18,8 eV, și 28,4 eV, urmate de un salt la enorma energie de 120 eV necesară pentru îndepărtarea unui al patrulea electron. Într-adevăr, chimiștii știu că aproape toate reacțiile la care ia parte aluminiul au ca rezultat pierderea celor trei electroni, niciodată mai mulți și doar cu dificultate mai puțin de trei. În paranteză fie spus, vedem aici un alt motiv întemeiat pentru care chimiștii preferă vechile etichete: 3 de la Grupa a III-a dezvăluie faptul că aluminiul va forma cationi triplu încărcați, în timp ce în eticheta „Grupa 13" această informație este îngropată.

Diferența între această parte a regatului și regiunile Dreptunghiului Vestic este aceea că îndepărtarea electronilor are loc din două tipuri de orbitali. La aluminiu, doi dintre electroni provin din orbitalii *s*, iar unul din orbitalul *p*. Putem bănui că aici există o altă structură pe care, la o cercetare atentă, solul regatului o va aduce la vedere. Într-adevăr, prospectorii chimiști care călătoresc în sud, în josul Grupei 13 vor găsi o schimbare în capacitatea acestor regiuni de a forma cationi. Elementele din sudul cel mai sudic își pierd în general doar electronul *p* în reacțiile chimice, producînd cationi care sînt doar simplu încărcați. În Dreptunghiul Estic trebuie să observăm că unele

regiuni pierd toți electronii lor de valență și formează atunci cationi cu sarcină triplă, în timp ce altele pierd doar electronul lor *p* cel mai exterior, dînd naștere unui cation cu sarcină simplă. Chimiștii utilizează caracterul dual al acestor elemente pentru a semnala schimbările compușilor acestor regiuni.

Variabilitatea pierderii de electroni din Dreptunghiul Estic nu este o particularitate a Grupei 13. Alături, în Grupa 14, se află plumbul, cu structura electronică $[Xe]6s^26p^2$: patru electroni (cifra 4 din eticheta 14 atașată grupei; mult mai evidentă în cazul numerotării cu cifre romane: IV) în afara miezului asemănător xenonului. Acum știm destule despre reglementările regatului pentru a bănui că plumbul își poate pierde destul de ușor cei patru electroni și că o pierdere mai mare de electroni necesită spargerea miezului. Pe de altă parte, folosindu-ne exersatul ochi de chimist, mai putem bănui că electronii vor pleca din atom în două cete. Ne putem aștepta ca unele reacții să aibă loc prin pierderea doar a electronilor 6*p*, cei mai slab legați de pătura externă. În reacțiile mai puternice, ne putem aștepta să fie îndepărtați toți cei patru electroni exteriori, atît cei 6*s*, cît și cei 6*p*. În acest fel, ne putem aștepta ca proprietățile chimice ale plumbului să fie caracterizate de cationii cu sarcină dublă și de cei cu sarcină cvadruplă. Și, în general, așa și este.

În mod deliberat nu am comentat încă Istmul. Aici, în blocul *d*, cu structurile electronice de tip $[Ar]4s^23d^5$ (structura manganului), energia reacțiilor chimice este suficientă pentru a îndepărta cei doi electroni 4*s* și un număr variabil de electroni 3*d*. Ca urmare, pot fi formate toate tipurile de diferiți cationi. Un principal beneficiar al acestor circumstanțe mai puțin constrîngătoare

sînt procesele vieții, ca și suprastructura tehnologică pe care viața o ridică din solurile regatului. De exemplu, fierul apare ca patru ochi sîngerii în centrul moleculei de hemoglobină, iar promptitudinea sa de a-și manevra garnitura de electroni îl face apt să-i facă loc și unei molecule de oxigen și s-o plimbe prin corpurile noastre acolo unde e nevoie de oxigen, depunînd-o cu aceeași nepăsare. Atunci cînd sînt necesari electroni pentru a face posibil un proces într-o celulă vie, cel mai des este chemat fierul să cedeze unul. În procesul fotosintezei, izvorul nesecat al energiei folositoare pe Pămînt, manganul este cel care-și desfășoară electronii pe care energia solară îi eliberează și care, pînă la urmă, conduce formularea opiniilor și executarea acțiunilor noastre.

Industria chimică trage intens foloase din Istm, deoarece aproape toate produsele ei sînt realizate prin utilizarea catalizatorilor. Catalizatorii sînt substanțe care cresc vitezele unor reacții dorite — ba chiar le fac posibile pe acelea care în absența lor nu ar avea loc. Aceste reacții sînt aproape toate bazate pe curtoazia electronică a metalelor Istmului. Azotul este fixat, se manifestă ca fertilizator, iar apoi este utilizat pentru a ne hrăni și a ne reconstrui proteinele, prin intermediul fierului și al ușurinței cu care acesta lasă electronii să plece și apoi îi recuperează. Bacteriile au descoperit cum să utilizeze molibdenul pentru a fixa azotul prin investirea mai degrabă a unei perioade de evoluție decît a unui capital financiar. Acidul sulfuric, un produs esențial al blocului *p*, este obținut prin acțiunea catalitică a platinei și a vanadiului, iar acidul azotic prin folosirea rodiului drept catalizator. Hidrocarburile, pompate din structurile de carbon de sub pămînt, sînt tăiate, ciopîrțite, amestecate, legate, răsucite, alun-

gite, perforate, crescute pe o sumedenie de soluri speciale și sub acțiunea catalizatorilor, toți aceștia provenind din Istm. Toate aceste baze profunde ale societății, de la însuflețirea organismelor pînă la viabilitatea industriei, au la origine utilizarea realității conceptului abstract al orbitalului *d*, care se află mult mai în profunzime decît sălile de mașini ale regatului.

În această trecere în revistă a formării cationilor, mai trebuie subliniat un lucru care privește diametrul lor. Cînd se formează un cation, după cum am văzut, cel mai des electronii din stratul atomic exterior sînt îndepărtați pentru a se dezvălui miezul. Ar trebui, prin urmare, să ne așteptăm ca diametrul acestor cationi să fie semnificativ mai mic decît cel al atomului parental, ceea ce se și întîmplă. Mai mult decît atît, variația diametrelor cationilor reflectă variația diametrelor atomilor parentali: peisajul coboară, cu eventuale coline și văi, de la sud-vestul Deșertului Vestic spre nord-est.

Dar ce se întîmplă cu anionii? Aici substructura regatului este mai puțin variabilă, iar formarea anionilor este restrînsă, în condițiile asigurate prin reacțiile chimice, la mai puține regiuni. Cum am văzut mai devreme, energia de formare a unui anion — adică realizarea unui ion încărcat negativ prin atașarea de electroni — este măsurată prin afinitatea pentru electroni a acestui element. Elementele cu afinități mari pentru electroni eliberează cantități însemnate de energie atunci cînd un electron se atașează unui atom. Mai mult, am văzut de asemenea că elementele cu cele mai mari afinități pentru electroni sînt cele din apropierea fluorului, în nord-estul îndepărtat al regatului. De ce stau lucrurile astfel și ce ritmuri de periodicitate apar în această zonă?

Este necesar să amintim că un atom de fluor are structura [He]$2s^2 2p^5$, cu doar un electron mai puțin decît stratul complet de valență caracteristic neonului. Cînd un electron se atașează unui atom de fluor, el pătrunde în și completează stratul cel mai exterior al atomului. Atomul se umflă puțin din cauza respingerii crescute electron-electron, astfel încît ne așteptăm ca anionul de fluor (mai corect, *ionul fluorură*) să fie ceva mai mare decît atomul parental. Atunci cînd electronul intră în atom, are loc o eliberare de energie de 3,4 eV, deoarece electronul poate ajunge să fie suficient de aproape de nucleul destul de puternic încărcat electric și să fie atras de el. Să luăm acum în considerare misiunea de a adăuga un al doilea electron pentru a forma un ion al fluorului dublu încărcat negativ. Există două efecte care se opun succesului acestei operații: unul este acela că al doilea electron trebuie să fie forțat să se apropie de o particulă care poartă deja o încărcătură negativă, iar sarcinile de același semn se resping; al doilea efect constă în faptul că, atunci cînd electronul, în cele din urmă, intră în ion, fiind, în tot acest timp, resprins, el nu poate pătrunde într-un orbital al stratului exterior, deoarece toți acești orbitali sînt completi. Datorită principiului de excluziune, el trebuie să înceapă formarea unui nou strat și nu se mai poate apropia mult de nucleu. Pornind de-aici, în afara faptului că este respins de către electronii deja prezenți, el mai este doar slab atras de un nucleu aflat la distanță. În consecință, rezultatul este o propunere neatrăgătoare pentru investitorii energetici, iar formarea unui anion cu sarcină dublă nu are loc. Un argument similar se aplică celorlalți halogeni. Ei pot accepta un singur electron, nimic mai mult.

Toți *ionii halogenuri* — fluorură, clorură, bromură și iodură — sînt purtători ai unei sarcini unice negative.

La un pas spre vest la fluor, pe coasta nordică, se întinde oxigenul cu structura [He]$2s^2 2p^4$. Acest atom are două locuri vacante în stratul exterior și, probabil, aptitudinile sale sînt clare de pe acum. El poate accepta cu ușurință un electron (cu eliberarea unei cantități de energie de 1,5 eV), iar acest electron poate simți o puternică atracție din partea nucleului central din apropiere. Un al doilea electron trebuie să fie împins spre atom împotriva respingerii sale de către sarcina negativă a ionului, astfel încît trebuie făcută o investiție, în mare măsură asemănătoare celei din cazul adăugării celui de-al doilea electron la fluor. Totuși, acum efortul este răsplătit. Al doilea electron își poate găsi un adăpost în stratul cel mai exterior, incomplet, al anionului de oxigen simplu încărcat și poate stabili un cuplaj fericit cu nucleul nu prea îndepărtat. În continuare este necesar să fie furnizată energie pentru a crea un anion de oxigen dublu încărcat (*ionul oxid*) pornind de la ionul simplu încărcat, dar aceasta are o valoare (8,8eV) destul de mică pentru a fi recuperată din energia eliberată prin alte trepte implicate într-o reacție chimică. În ce privește atașarea unui al treilea electron la ionul oxid, nu există vreo speranță, deoarece ar trebui ca acesta să fie forțat să se apropie de un anion deja dublu încărcat, iar, odată ajuns aici, ar trebui să stea în afara miezului și n-ar interacționa apreciabil cu nucleul. Astfel, este de așteptat ca oxigenul și restul membrilor grupei să formeze anioni dublu încărcați, ceea ce și constată în fapt chimiștii.

Să ne întoarcem acum la litoralul estic, în mare măsură steril, unde se întind gazele nobile. Toți orbitalii

lui sînt completi, iar orice electron nou sosit rămîne doar dacă ocupă un orbital al unui nou strat. Aceasta îl face să fie mai împrăștiat în jurul atomului, la mare distanță de nucleul central. În această poziție nu există vreun avantaj energetic, iar afinitățile gazelor nobile pentru electroni sînt negative. De exemplu, pentru a atașa neonului un electron suplimentar avem nevoie de 1,2 eV, iar pentru a proceda similar în cazul argonului, de 1,0 eV. Gazele nobile sînt tot atît de reticente la adăugarea unui electron pe cît sînt de stăruitoare în păstrarea electronilor pe care-i dețin. Gazele nobile se întind într-o zonă a regatului în mare măsură neînsuflețită.

Un cuvînt de încheiere privind dimensiunile anionilor. Așa cum am văzut în cazul fluorului și al ionului fluorură, un anion este mai mare decît atomul său parental, deoarece electronul adițional umflă atomul în pofida atracției nucleului central. Acestei umflări a anionilor i se suprapune o variație în triunghiul regatului unde anionii sînt importanți, în îndepărtatul nord-est, o variație care reflectă variația diametrelor atomilor parentali. În acest triunghi, peisajul construit din diametrele anionilor se înalță de la nord spre sud și coboară de la vest la est și pretutindeni se așterne puțin deasupra peisajului obținut pornind de la diametrele atomilor înșiși.

CAPITOLUL 11

Legături și alianțe

Cea mai mare patre, dacă nu chiar totalitatea bogăției lumii reale, provine din compușii formați de membrii regatului. Din vreo sută și ceva de elemente pot fi realizate milioane de asemenea alianțe, întocmai cum o literatură infinită poate fi făurită din literele unui alfabet. Ar fi de departe prea pretențios să rătăcești pe întreg domeniul tuturor alianțelor potențiale și reale, însă există anumite trăsături care arată o periodicitate ce urmează ritmurile regatului. Chimiștii clasifică adesea alianțele pe care le reușesc prin referirea la localizarea regiunilor pe care le-au utilizat, iar noi vom face același lucru. Vom examina aici cuprinzătoarele tipuri de alianțe care pot fi formate și vom face legătura între caracteristicile părților aliate și ale compușilor rezultați și localizările din regat.

Compușii sînt endogamii intime ale atomilor unor regiuni, nu doar amestecuri. În unele cazuri, aceste căsătorii sînt deosebit de stabile, rezistînd pe vecie. Așa este cazul legăturilor pe care le formează miezul Pămîntului și peisajele sale stîncoase. Alte legături sînt mai puțin stabile și pot dura doar o vară. Astfel stau lucrurile cu mulți dintre compușii organici bazați pe

carbon, care rezistă o zi, un an sau șaptezeci de ani, pentru ca apoi să se scindeze pînă la asamblări de atomi mai puțin complexe. Unele alianțe au o durată atît de scurtă încît este necesar un ochi bine exersat care să le discearnă și să le înregistreze.

Compușii se mențin prin *legături chimice*, adică legături între atomi. Astfel de legături se știe că apar din desfășurarea electronilor din straturile exterioare ale atomilor, așa-numitele straturile de valență. „Valență" este un termen care semnifică puterea atomilor de a forma legături chimice și este derivat dintr-un cuvînt latin pentru „putere". *Valete!* („Fii puternic!") își spuneau romanii la plecare. Am văzut că structura electronică a atomilor etalează o periodicitate care este prinsă de legislația regatului și ne așteptăm ca însușirea de a forma legături să manifeste o periodicitate similară. Această periodicitate similară a numărului și tipului de legături este ceea ce încheie discuția de față.

Există două varietăți principale de legături chimice — *legăturile ionice* și *legăturile covalente*. O legătură ionică, așa cum sugerează numele ei, este o interacție dintre ionii pe care îi formează atomii, provenind din atracția dintre sarcinile opuse ale cationilor și anionilor. O legătură covalentă este o combinație discretă a atomilor, efectuată prin punerea în comun a perechilor de electroni. Vom examina aceste două tipuri de legături mai în detaliu, apoi vom vedea cum se corelează formarea lor cu localizarea unui element în cadrul regatului. În fiecare caz vom fi ghidați de un indicator rutier din regat, care arată direcția către energia mai joasă: legăturile dintre atomi se formează dacă, prin realizarea lor, se eliberează energie. Trebuie să înțelegem de ce indicatorul arată spre vale — de ce

produsul rezultat trebuie să aibă întotdeauna o energie mai joasă decît atomii săi separați.

Pentru a înțelege autoritățile care conduc la formarea unei legături ionice, vom lua în considerare un gaz din atomi de sodiu (cu structura electronică $[Ne]3s^1$) amestecați cu atomi de clor ($[Ne]3s^23p^5$), care provin din celălalt capăt al regatului. Această întrepătrundere a atomilor este încă doar un amestec, deoarece alianțele n-au fost încă formate. Trebuie să avem în vedere dacă există în acest amestec un indicator rutier care să arate în jos. Cu siguranță există un indicator care arată exact în sus: îndepărtarea unui electron din fiecare atom de sodiu, operație care necesită 5,1 eV. Totuși, se poate dovedi util să facem o investiție, așa că o facem. Am mai văzut și că atunci cînd un electron intră în atomul de clor și formează un ion clorură, se eliberează o energie de 3,6 eV. În acest stadiu, am obținut două structuri asemănătoare gazelor nobile, un cation de sodiu și un anion clorură, prin transferul unui electron de la un tip de atom la altul. Indicatorul rutier arată încă în sus, totuși, deoarece 5,1 eV minus 3,6 eV este egal cu 1,5 eV, s-ar părea că nu există nici un motiv pentru care acest gaz s-ar forma.

Există însă o a treia contribuție indispensabilă: atracția electrică dintre ionii cu sarcină de semn opus. Dacă ionii se apropie unul de altul, această atracție poate deveni atît de puternică încît scăderea energiei cîntărește mai mult decît investiția pe care trebuia să o facem și, de îndată ce energia de interacție depășește 1,5 eV, indicatorul rutier își schimbă direcția, ca un semafor, și arată în jos. Cea mai joasă energie dintre toate este atinsă dacă atît cationii, cît și anionii stau grămadă, cu cationii în jurul fiecărui anion și cu an-

ionii în jurul fiecărui cation. Determinări mult mai detaliate ale structurii rezultante, care este numită *solid ionic*, arată că există șase cationi în jurul fiecărui anion și șase anioni în jurul fiecărui cation (fig.14). Aceasta este de fapt structura banalei sări de bucătărie, clorura de sodiu extrasă din saline și din oceane.

Vom folosi această discuție pentru a examina tipurile de compuși formați de elemente și pentru a expune mai multe ritmuri ale naturii decît acelea pe care le etalează regatul. Aceste ritmuri ale combinării au făcut de fapt parte dintre cele mai convingătoare componente ale dovezilor care l-au condus pe Dmitri Mendeleev la harta sa. Să reținem mai întîi că sodiul poate elibera cu ușurință doar un singur electron și că, în mod similar, clorul poate accepta doar unul. Cea mai plauzibilă combinație a acestor elemente atît de diferite este cea cu un atom de sodiu și un atom de clor, exact proporția în care ele se combină pentru a forma sare. Într-adevăr, putem folosi autoritatea geografiei electronice a regatului pentru a prezice că *oricare* compus format dintr-un metal alcalin din Grupa 1 cu un halogen din Grupa 17 va avea atomi prezenți în proporții egale. Aceasta se și observă, iar toate halogenurile de metale alcaline, așa cum sînt ele denumite (incluzînd fluorura de litiu, bromura de sodiu, iodura de potasiu, precum și toate cele treizeci de combinații binare posibile pentru aceste două zone) au această compoziție de unu-la-unu. Acum legile regatului, structurile electronice subiacente, guvernează și alianțele.

Să presupunem acum că ne deplasăm spre est cu o grupă, la calciu și la metalele alcalino-pămîntoase ale Deșertului Vestic. Aceste elemente pot să cedeze cu

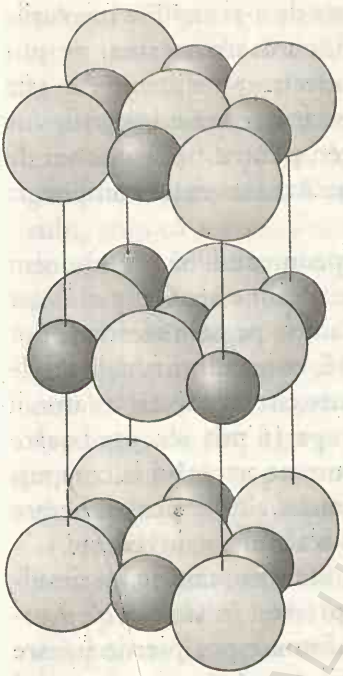
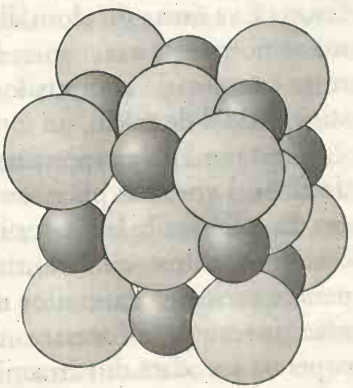


Fig. 14
Structura banalei sări de bucătărie (clorură de sodiu): în stînga — o imagine cu planele cristaline îndepărtate, în dreapta — structura reală. Modelul ar putea continua nedefinit, sfîrșind doar la marginea cristalului. De remarcat că fiecare cation de sodiu (sferele mici) se află în contact cu șase ioni clorură (sferele mari) și invers.



BCU IASI / CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

ușurință doi electroni înainte de a-și expune miezurile lor inviolabile. Halogenii, cu toate acestea, nu pot decît să accepte un singur electron per atom. Aceasta sugerează că atunci cînd se formează compușii, vor exista doi atomi de halogen pentru fiecare atom de metal alcalino-pămîntos. Aceasta este exact compoziția care este găsită.

Putem acum inversa raționamentul. Să presupunem că ne întoarcem la metalele alcaline ale Grupei 1, dar că avem acum în vedere aliațele pe care aceștia le pot forma cu regiunile grupei 16, oxigenul și rudele lui de la sud. Primii pot ceda fiecare cîte un electron; atomii celorlalte elemente din Grupa 16 pot accepta fiecare cîte doi electroni. Astfel, acum ne așteptăm la compuși în care există doi atomi de metal alcalin pentru fiecare atom de oxigen sau sulf, exact cum se dovedește.

Pentru a încheia discuția, să ne mișcăm acum simultan spre est în Grupa 2 și spre vest în Grupa 16. Atomii metalelor alcalino-pămîntoase pot pierde fiecare cîte doi electroni, iar atomii asemănători oxigenului pot accepta fiecare cîte doi electroni. Astfel, avem din nou schema compușilor în care pentru fiecare atom din Grupa 2 va exista un atom din Grupa 16. Această schemă se potrivește exact cu ceea ce s-a observat și lămurește compoziția compușilor asemănători varului nestins (oxidul de calciu, un ion de calciu la un ion oxid).

Acest mod de a raționa este utilizat de chimiști ori de cîte ori vor să explice sau să prezică ce compoziție are un solid ionic. Indicatorul rutier general al energiei arată în jos doar cînd cantitatea de energie necesară pentru formarea cationilor nu este prea mare: o prea mare investiție în formarea de cationi nu poate fi recuperată vreodată din atracția între sarcinile opuse, iar

indicatorul rutier nu va arăta niciodată în jos. Acest lucru limitează la rîndul lui formarea punților ionice la combinațiile de elemente în care unul este un metal, deoarece doar elementele metalice au energii de ionizare suficient de joase. Astfel, acum, cînd privim regatul de sus și vedem Deșertul Vestic scînteind dedesubt, știm că acestea sînt regiunile care au capacitatea de a forma solide ionice, precum și faptul că formează solide ale căror compoziții sînt dictate de localizarea grupei lor în regat.

Solidele ionice au o diversitate de trăsături comune care le fac ușor de recunoscut în lumea reală. Mai întîi, deoarece ele sînt agregate dure de ioni împachetați strîns laolaltă, se prezintă ca solide rigide, sfărîmicioase. Pentru a le transforma în lichide, este necesar să le încălzești pînă la o temperatură destul de înaltă pentru a agita ionii eliberați unul de altul (căldura agită particulele), astfel încît solidele ionice au, de obicei, puncte de topire ridicate. O altă caracteristică importantă este aceea că, atunci cînd solidele ionice sînt dizolvate în apă (ceea ce nu se poate întîmpla cu toate), ionii migrează departe și devin conducători mobili de electricitate. Astfel, solidele ionice sînt potențiali *electroliți*, adică substanțe care pot transporta un curent electric fie atunci cînd sînt topite, fie atunci cînd sînt dizolvate.

Să luăm acum în considerare formarea legăturilor covalente. Cînd este format un compus care nu implică un element metalic, este implicată o prea mare energie în extragerea electronilor pentru a face dintr-o legătură ionică un lucru realizabil. Chiar după ce s-a ținut cont de atracția dintre ioni care se poate produce în ultimă instanță, indicatorul arată în sus în ce pri-

vește energia. Cel mai bun lucru care se poate întîmpla este acela ca atomii, de fapt, să-și rețină electronii, dar să intre într-un acord de participare. Cînd cei doi electroni sînt împărțiți între cei doi atomi învecinați, spunem că aceștia sînt legați printr-o legătură covalentă.

Mai întîi, trebuie să vedem de ce o legătură e constituită din doi electroni și nu dintr-un electron sau trei electroni, ori din oricare alt număr. Motivul poate fi înțeles privind în urmă, la principiul de excluziune al lui Pauli, care limitează ocuparea orbitalilor atomici de către mai mult decît doi electroni. Atunci cînd doi atomi se unesc, distribuția electronilor din straturile lor de valență nu mai este limitată la fiecare atom singur, ci se continuă acum între ambii atomi, aidoma unei rețele. În mod analog distribuțiilor din atomi — orbitalii atomici —, distribuțiile din moleculă, care se continuă între atomii constituenți, sînt denumite *orbitali moleculari*. În orice caz, chiar dacă ei au o deschidere mai mare și o formă mult mai complicată, care se prelungește pe atomii constituenți, acești orbitali sînt încă orbitali, iar principiul de excluziune încă se aplică: doar doi electroni pot fi găzduiți pe unul dintre acești orbitali, iar acesta este motivul pentru care o legătură covalentă constă dintr-o pereche de electroni.

Întîmplător, este posibil de asemenea ca doi atomi să-și împartă mai mult de doi electroni, deoarece mai mult de un orbital molecular poate să se prelungească la ambii atomi și îi poate cuprinde într-o rețea. Fiecare pereche de electroni utilizată în comun contează ca o legătură covalentă, iar astfel atomii pot fi legați prin legături simple (o pereche de electroni în comun), legături duble (două perechi în comun), legături triple și — foarte, foarte rar — legături cvadruple. Ca și în

cazul legăturilor ionice, legăturile covalente se vor forma doar dacă ele au ca rezultat o scădere a energiei; dar, în cazul legăturilor covalente, nu trebuie să ne îngrijorăm de investiția uriașă pe care o cere în general formarea ionilor, deoarece participarea în comun a electronilor presupune redistribuiri de electroni mult mai puțin drastice. Legăturile covalente se formează în mod tipic între elemente care se întind în triunghiul de sus al Dreptunghiului Estic.

Cînd legăturile covalente se formează între atomi, entitatea rezultată se numește *moleculă*. Acesta e locul în care compușii creați prin formarea de legături covalente diferă atît de frapant de cei formați prin legături ionice. Compușii moleculari sînt grupări tipice de atomi (dar nu invariabile, așa cum vom vedea) mai degrabă discrete decît agregate întinse. Mai mult, deoarece utilizarea în comun a electronilor este mult mai rafinată decît pierderea de electroni, capacitatea unui atom de a elibera electroni pentru a forma o legătură covalentă într-o direcție va afecta capacitatea sa de a-i elibera în diferite direcții. Ca rezultat, aranjamentul atomilor într-o moleculă are o geometrie fixă, caracteristică. Cu alte cuvinte, compușii covalenți ai regatului sînt grupări discrete de atomi, adesea mici — grupări cu forme caracteristice.

În timp ce agregatele ionice sînt potențial infinite și invariabil solide la temperaturi normale, agregatele moleculare sînt adesea atît de mici încît ele pot forma gaze și lichide. Mai mult, atunci cînd formează solide, forțele de atracție dintre moleculele solidului sînt în general mult mai puțin puternice decît cele dintre ionii unui solid ionic. Multe specii moleculare formează solide mai moi decît acelea pe care le alcătuiesc ionii

și sînt mult mai ușor de desfăcut în moleculele lor constituente printr-o ușoară încălzire; ele sînt caracterizate în general prin puncte de topire joase și prin puncte de fierbere joase.

În general, compușii moleculari constituie fața delicată a naturii, iar compușii ionici cea dură. Lucrul acesta devine mai clar comparînd fața delicată a pămîntului — rîurile, iarba, pădurile, care sînt cu toate moleculare — cu substructurile dure ale peisajului, care sînt în mare măsură ionice. De aceea, acest triunghi al Dreptunghiului Estic este atît de important pentru existența vieții și, tot de aceea, întregul rest al regatului este atît de important în formarea unei platforme stabile, solide.

Dar nu este întotdeauna cazul ca legăturile covalente să dea naștere unor alianțe delicate. Există anumite cazuri în care atomii pot forma legături covalente cu vecinii, acești vecini pot forma legături cu vecinii și așa mai departe, pentru a rezulta un solid potențial infinit. Un exemplu este diamantul, o formă a carbonului. Marea duritate a acestei forme a elementului reușește aproape să compenseze contribuția sa la delicatețea de pretutindeni, și provine din legarea rigidă, ca într-o rețea, care extinde solidul peste tot legînd atom de atom, în principiu la nesfîrșit, aidoma rețelei de oțel a unei mari clădiri.

Există mai multe probleme pe care trebuie să le legăm unele de altele înainte de a părăsi aspectul alianțelor în regat. O problemă privește puterea atotcuprinzătoare a carbonului de a participa la formarea moleculară, putere care are ca rezultat o asemenea complexitate a structurii și o astfel de cooperare încît alianțele pe care le formează devin însuflețite și pot să

se răsfrîngă chiar asupra lor. Motivul principal al acestei puteri latente a unei singure regiuni este, așa cum s-a subliniat, mediocritatea intrinsecă a carbonului, lipsa sa de încredere în sine. Stînd, așa cum o face el, la mijlocul coastei nordice, carbonul nu este nici un agresiv donator de electroni, cum sînt elementele din stînga sa, dar nici un avid primitor, ca atomii din dreapta sa. Carbonul este temperat în dorințele sale privind alianțele pe care le face. Mai mult, el este chiar mulțumit cu propria-i companie și poate avea legături extinse cu el însuși, formînd lanțuri, inele și ramificații de atomi. Dacă ar fi mai bucuros să-și doneze electronii, ar face-o la cererea unui alt atom, și atunci găsește că n-a reținut suficienți electroni pentru a lega alți atomi într-o configurație precisă. Dacă ar fi mult mai avid de electroni, și-ar satisface curînd tendința sa de legare și ar fi lipsit de prilejul unor subtile conspirații cu alții. Aflîndu-se la mijloc, lipsit de pretenții și nu deosebit de generos, el poate țese alianțe trainice mai curînd decît conspirații nechibzuite.

Aspectul final se referă la inerta lizieră estică a regatului, gazele nobile de pe litoralul de nereactivitate. Ele sînt în mare măsură moarte pentru lumea formării de legături, chiar și a formării de legături covalente, din motive care trebuie urmărite în structurile lor electronice. Energiile lor de ionizare sînt înalte, deoarece electronii lor formează un grup compact în jurul nucleelor lor cu sarcină electrică mare. Ele sînt lipsite de dorința de a elibera electroni, chiar și parțial, deoarece aceasta, de asemenea, necesită o substanțială investiție energetică. Aceste specii cu straturi închise nici nu atrag electroni, deoarece orice electron care vine întîmpină perspectiva de a locui pe un orbital al unui

nou strat, la o distanță nedorit de mare de nucleu. Aici indicatorul rutier al energiei cu greu arată vreodată în jos, iar aliațele cu greu se formează vreodată, cu excepția celor realizate cu anumite regiuni mai agresive, ca aceea a fluorului. Faptul că regatul se povîrnește brusc pe țărmul de pe liziera sa estică este un semn al saționării. De ce să-și mai bată capul să primească mai mulți electroni? De ce să-și mai bată capul să cedeze vreunul?

BCU IASI / CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

EPILOG

Am cutreierat regatul în lung și în lat, cercetîndu-l de la înălțime din diferite perspective și călătorind pe suprafața lui, unde i-am studiat structura. Am scormonit în subsolul său și am văzut acțiunea internă a legilor sale. Acum, la sfîrșitul călătoriei, ar trebui să ne adunăm reflecțiile despre această țară imaginară și importanța ei.

Lumea reală este o harababură de o copleșitoare complexitate și de un farmec incomensurabil. Chiar lumea neînsuflețită, anorganică, a stîncilor și pietrelor, a rîurilor și oceanelor, a vîntului și aerului, este o minune nețărmurită. Adăugați la aceasta ingredientul vieții, iar minunea este multiplicată aproape dincolo de imaginație. Deși toată această minunăție izvorăște din vreo sută de componente care se leagă unele de altele, amestecate, înghesuite și înlănțuite, așa cum se leagă literele pentru a alcătui o operă literară. Descoperirea acestei reducții a lumii la componentele sale, la elementele chimice, a constituit o mare realizare a primilor chimiști — cu rudimentarele tehnici experimentale de care dispuneau, dar cu uimitoarea putere a rațiunii umane (la fel de fertilă ca și azi). O aseme-

BCU IASI UNIVERSITY LIBRARY

nea reducție nu distruge farmecul lumii, ci adaugă impresiei înțelegerea, iar această înțelegere nu face altceva decît să dea profunzime încîntării noastre.

A venit apoi o realizare încă și mai mare. Deși aceste elemente sînt substanță, iar puțini ar fi crezut că ele pot fi legate unele de altele, chimiștii au trecut de aspectele de suprafață privind înfățișarea și au identificat un regat de relații, de legături de familie, de alianțe, de afinități. Prin experimentul și gîndirea lor, o lume întreagă s-a înălțat din mare, iar apoi s-a văzut că elementele formează un peisaj. Tot atît de important, s-a descoperit că peisajul, atunci cînd este examinat din numeroase perspective, are o structură și nu reprezintă doar o colecție întîmplătoare de defilee și piscuri; în particular, s-a descoperit că variază periodic. Aceasta a fost cea mai uimitoare descoperire dintre toate: de ce ar trebui materia să manifeste vreo periodicitate?

Cum se întîmplă adesea în dezvoltarea științei, înțelegerea izvorăște din concepte simple care operează chiar în subsolul realității și constituie adevărata realitate. O dată ce atomii au fost cunoscuți — iar alcătuirea lor lămurită în termenii acestei mari invenții a minții, mecanica cuantică — a fost dată în vileag temelia regatului. Principii simple — în particular, enigmaticul principiu de excluziune — au arătat că periodicitatea regatului era o reprezentare a periodicității structurii electronice a atomilor.

Structura, organizarea și dimensiunile probabile ale regatului erau acum pe deplin înțelese. Există curenți care curg la o adîncime încă mai mare decît cei prezentați de noi aici, iar aceștia sînt cunoscuți. Totuși, în pofida înțelegerii de către noi a regatului, acesta ră-

mîne un loc misterios. Proprietățile regiunilor sînt explicabile și, între anumite limite, putem prevedea cu certitudine proprietățile chimice și fizice ale unui element, precum și tipurile de compuși pe care acestea îi formează. Regatul — tabelul periodic — este unicul și cel mai important principiu unificator al chimiei: el atîrnă pe pereții din lumea întreagă, iar cea mai bună cale de a stăpîni chimia și de a inspira noi linii în cercetarea chimică se întemeiază pe înțelegerea și utilizarea schemei sale de organizare. Dar acest regat este un tărîm al conflictului, așa cum am văzut. Proprietățile unei anumite regiuni sînt un rezultat al competițiilor, al influențelor care trag în diferite direcții, uneori al mai multor influențe. Aceste influențe sînt de obicei compensate în cele din urmă și este dificil, chiar și de pe culmile experienței, să fi absolut sigur că un element nu va manifesta vreun capriciu de personalitate care va anula predicția sau care va deschide o nouă și captivantă cale de investigare.

Elementele regatului au aceeași capacitate nelimitată de a uimi și de a încînta ca și literele alfabetului. Spre deosebire de alfabet, care abia dacă are o infrastructură, regatul are o structură suficientă pentru a face din el o agregare de entități, satisfăcînd rațiunea noastră. Și, deoarece aceste entități sînt în cele din urmă personalități vii, fin echilibrate, cu capricii de comportament și cu înclinații nu întotdeauna evidente, regatul va constitui întotdeauna un tărîm de infinită delectare.

BCU IASI / CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

Atkins, P. W., *Quanta: A. Handbook of Concepts*, ed. a II-a (Oxford University Press, Oxford, 1991). Cartea furnizează scurte descrieri ale conceptelor de mecanică cuantică întîlnite în lucrarea de față.

Atkins, P. W., and J. A. Beran, *General Chemistry*, ed. a II-a, (Scientific American Books, New York, 1992). Acest volum prezintă, la un nivel elementar, principalele concepte descrise în cartea de față, inclusiv structura atomică modernă și exemple privind caracterul chimic periodic.

Bourne, J., „An Application-Oriented Periodic Table of the Elements", *Journal of Chemical Education*, 66 (1989): 741–745. Sînt prezentate cîteva versiuni diferite ale tabelului periodic.

Cox, P. A., *The Elements: Their Origin, Abundance, and Distribution* (Oxford University Press, Oxford, 1989). O introducere în procesele care au format elementele și le-au distribuit în cosmos și pe Pămînt.

Emsley, J., *The Elements*, ed. a II-a, (Oxford University Press, Oxford, 1991). Într-un format convenabil, o colecție de date numerice privind elementele.

Mason, J., „Periodic Contractions Among the Elements: Or, on Being the Right Size", *Journal of Chemical Education*, 65 (1988): 17–20. O trecere în revistă a di-

BCU CLUJ / BABEȘ-BOLYAI UNIVERSITY LIBRARY

mensiunilor atomilor și ionilor, a periodicității lor și a consecințelor decurgînd de aici.

Mazurs, E. G., *Graphical Representations of the Periodic System During One Hundred Years* (University of Alabama Press, Alabama, 1974).

Puddenphatt, R. J., and P. K. Monaghan, *The Periodic Table of Elements*, ed. a II-a. (Oxford University Press, Oxford, 1986). Un studiu introductiv privind tendințele periodice.

Ringnes, V., „Origin of the Names of Chemical Elements", *Journal of Chemical Education*, 66 (1989): 731–738. O relatare minuțioasă și interesantă privind denumirile elementelor.

Rouvray, D. H., „Turning the Tables on Mendeleev", *Chemistry in Britain* (May 1994): 373–378. O scurtă trecere în revistă a tabelului periodic.

Van Spronsen, J. W., *The Periodic System of Chemical Elements: A History of the First Hundred Years* (Elsevier, Amsterdam, 1969).

Weast, R. C., ed., *CRC Handbook of Chemistry and Physics*, ed. a 76-a. (CRC Press, Boca Raton, 1995). Manualul include scurte prezentări ale istoriei descoperirii elementelor.

Weinberg, S., *The First Three Minutes* (Andrew Deutsch, London, 1977). O relatare clasică de succes privind formarea materiei.

Woods, G., „The Deeper Picture", *Chemistry in Britain* (May 1994): 382–383. O relatare succintă privind diferitele aranjamente care au fost propuse pentru tabelul periodic.

BCU IASI

BCU IASI / CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

Perioada
1
2
3
4
5
6
7
1
Hidrogen
1 2
3 Litiu
4 Beriliu
11 Sodiu
12 Magneziu
19 Potasiu
20 Calciu
37 Rubidiu
38 Stronțiu
55 Cesiu
56 Bariu
87 Franciu
88 Radiu
Istmul (blocul d)
3 4 5 6 7 8
21 Scandiu
22 Titan
23 Vanadiu
24 Crom
25 Mangan
26 Fier
39 Ytriu
40 Zirconiu
41 Niobiu
42 Molibden
43 Tehnețiu
44 Ruteniu
72 Hafniu
73 Tantal
74 Tungsten
75 Reniu
76 Osmiu
104 Dubniu
105 Joliotiu
106 Rutherfordiu
107 Bohriu
108 Hahniu
Dreptunghiul Vestic (blocul s)
57 Lantan
58 Ceriu
59 Praseodimiu
60 Neodimiu
61 Prometiu
89 Actiniu
90 Toriu
91 Protactiniu
92 Uraniu
93 Neptuniu
N
E
S

Dreptunghiul Estic (blocul *p*)

18					
2 Heliu					
13	14	15	16	17	
5 Bor	6 Carbon	7 Azot	8 Oxigen	9 Fluor	10 Neon
13 Aluminiu	14 Siliciu	15 Fosfor	16 Sulf	17 Clor	18 Argon
31 Galiu	32 Germaniu	33 Arsenic	34 Seleniu	35 Brom	36 Kripton
49 Indiu	50 Staniu	51 Antimoniu	52 Telurîu	53 Iod	54 Xenon
81 Taliu	82 Plumb	83 Bismut	84 Poloniu	85 Astatin	86 Radon

9	10	11	12
27 Cobalt	28 Nichel	29 Cupru	30 Zinc
45 Rodiu	46 Paladiu	47 Argint	48 Cadmiu
77 Iridiu	78 Platină	79 Aur	80 Mercur
109 Meitneriu			

62 Samariu	63 Europiu	64 Gadoliniu	65 Terbiu	66 Disprosiu	67 Holmiu	68 Erbiu	69 Tuliu	70 Yterbiu	71 Lutețiu
94 Plutoniu	95 Americiu	96 Curiu	97 Berkeliu	98 Californiu	99 Einsteiniu	100 Fermiu	101 Mendeleviu	102 Nobeliu	103 Lawrenciu

Insula Sudică (blocul *f*)

BCU "LUCIAN BLAGA" CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

BCU IASI / CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

CUPRINS

Prefață 5

Partea I: GEOGRAFIA

1. Teritoriul 11
2. Produsele regiunilor 19
3. Geografia fizică 40

Partea a II-a: ISTORIA

4. Istoria descoperirii 61
5. Denumirea regiunilor 72
6. Originea uscatului 80
7. Cartografii 96

Partea a III-a: PUTEREA EXECUTIVĂ

8. Legislația internă 119
9. Legislația externă 127
10. Administrația regională 145
11. Legături și alianțe 159

Epilog 171
Lecturi suplimentare 174

BCU IS / CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

SCIENCE MASTERS

Seria SCIENCE MASTERS, publicată simultan în peste 25 de limbi, va cuprinde 12 cărți de difuzare a informației științifice într-o formă atractivă, accesibilă publicului larg. Oameni de știință eminenți din domenii ce merg de la astrofizică pînă la zoologie își fac cunoscute aici ideile și teoriile cele mai noi.

Eu văd acest proiect ca pe un năvod aruncat peste lume. Recolta va fi următoarea generație de gînditori și oameni de știință ai planetei noastre.

DANIEL C. DENNETT

P. W. Atkins, profesor de chimie fizică la Universitatea Oxford, joacă rolul ghidului într-o călătorie fantastică în Regatul Periodic al elementelor chimice. Prin imagini memorabile, analogii surprinzătoare și umor englezesc, domeniul chimiei, la prima vedere arid, capătă viață. Geografia, istoria, legislația și instituțiile guvernamentale – toate acestea ținînd de regatul tabelului periodic al elementelor, cu peste o sută de regiuni – explică pe înțelesul tuturor alcătuirea noastră și a cosmosului.

În seria SCIENCE MASTERS au mai apărut:

John D. Barrow Originea universului
Paul Davies Ultimele trei minute
Richard Dawkins Un rîu pornit din Eden
Richard Leakey Originea omului
Daniel C. Dennett Tipuri mentale

ISBN 973-28-0838-1

Foto copertă : LIVIU ANZULATO

O SERIE LANSATĂ CONCOMITENT ÎN PESTE 50 DE ȚĂRI

U IAȘI CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY